

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**



**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO**

**"OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL  
YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA  
- ATOCONGO"**

**EJECUTOR:**

**Bachiller DENIS CAROLINA MENDOZA MONDRAGON**

**ASESOR:**

**Dr. Ing° Hipólito Tume Chapa**

**PIURA, 2015**

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA**



**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO**

**"OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL  
YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -  
ATOCONGO"**

Bachiller DENIS CAROLINA MENDOZA MONDRAGON .....

EJECUTOR

Dr. Ing° HIPOLITO TUME CHAPA

.....

ASESOR

**Miembros de Jurado:**

Dr. Ing° Dante Ulises Llanos Caycho

.....

Presidente

Dr. Ing° Juan Francisco Moreano Segovia

.....

Secretario

Ing° Arturo Córdova Aguilar

.....

Vocal

PIURA, 2015

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**Dedicatoria;**

*Quiero dedicar esta tesis a Dios por haberme dado la fuerza y entereza en los momentos de flaqueza; a mis padres por estar siempre ahí, por darme siempre su apoyo incondicional su fuerza y ejemplo; a mi esposo Rafael por haber sido mi guía y sabio consejero en la mejora de cada uno de mis sustentos, a mi pequeño hijo Yahriel que siempre saca lo mejor de mí, es mi inspiración y motor para lograr nuevos objetivos. Finalmente, agradezco a mis compañeros de trabajo de UNACEM SAA por haberme apoyado y dado las facilidades durante este tiempo de ejecución de mi proyecto.*

TESIS:  
OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

CAPÍTULO I . INTRODUCCION Y ALCANCES GENERALES.....	11
<b>1.1. UBICACIÓN Y ACCESO:</b> .....	12
<b>1.2. PROPIEDAD MINERA:</b> .....	15
<b>1.3. CLIMA Y VEGETACION:</b> .....	16
<b>1.4. TOPOGRAFIA Y RELIEVE:</b> .....	17
1.5. OBJETIVOS.....	17
1.5.1. OBJETIVO GENERAL:.....	17
1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS: .....	18
1.6. METODOLOGIA DEL TRABAJO .....	18
1.6.1. ETAPA DE PREPARACION:.....	18
1.6.2. ETAPA DE CAMPO:.....	19
CAPÍTULO II : MARCO GEOLOGICO .....	20
2.1. GENERALIDADES:.....	20
2.2. GEOLOGIA REGIONAL .....	22
2.2.1. ESTRATIGRAFIA.....	22
2.2.1.1. MESOZOICO:.....	22
2.2.1.1.1. GRUPO PUENTE PIEDRA: .....	22
2.2.1.1.1.1. VOLCÁNICO SANTA ROSA: .....	24
2.2.1.1.1.2. FORMACIÓN PUENTE INGA .....	25
2.2.1.1.2. GRUPO MORRO SOLAR.....	26
2.2.1.1.2.1. FORMACIÓN SALTO DEL FRAYLE .....	27
2.2.1.1.2.2. FORMACIÓN HERRADURA.....	27

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

2.2.1.1.2.3. FORMACIÓN MARCAVILCA.....	28
2.2.1.1.3. FORMACIÓN PAMPLONA.....	31
2.2.1.1.4. FORMACIÓN ATOCONGO.....	32
2.2.2.1.5. GRUPO CASMA:.....	34
2.2.1.2. CUATERNARIO.....	37
2.2.2. ROCAS INTRUSIVAS.....	38
2.2.2.1. INTRUSIONES SUBVOLCÁNICAS.....	39
2.2.2.2. EL BATOLITO DE LA COSTA.....	40
2.2.2.2.1. SUPERUNIDAD PATAP.....	40
2.2.2.2.2. SUPERUNIDAD JECUÁN.....	43
2.2.2.2.3. SUPERUNIDAD TIABAYA.....	44
2.3. GEOMORFOLOGIA.....	46
2.3.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS REGIONALES.....	46
2.3.1.1. ISLAS.....	46
2.3.1.2. BORDE LITORAL.....	47
2.3.1.3. PLANICIES COSTANERAS Y CONOS DEYECTIVOS.....	49
2.3.1.4. LOMAS Y CERROS TESTIGOS.....	50
2.3.1.5. VALLES Y QUEBRADAS.....	50
2.3.1.6. ESTRIBACIONES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL.....	51
2.4. TECTONICA.....	51
2.4.1. CUADRO MORFOTECTÓNICO.....	51
2.4.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN EL SECTOR DE LA COSTA.....	52
2.4.2.1. FASE INTRACRETÁCEA.....	52
2.4.2.2. FASE DEL TERCIARIO INFERIOR.....	53

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

2.4.2.3. FASE DEL TERCIARIO SUPERIOR .....	53
2.4.2.4. MOVIMIENTOS CUATERNARIOS .....	54
2.4.3. ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL SECTOR DE LA COSTA.....	55
2.4.3.1. PLEGAMIENTOS .....	55
2.4.3.2. FALLAMIENTOS .....	55
2.4.3.3. FRACTURAMIENTOS .....	58
2.4.3.4. FALLAMIENTO Y FRACTURAMIENTO EN EL BATOLITO DE LA COSTA .....	58
2.5. GEOLOGÍA LOCAL DEL YACIMIENTO PUCARÁ.....	59
2.5.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS Y CUERPOS INTRUSIVOS:.....	59
2.5.1.1. FORMACIÓN PAMPLONA (KI-PA).....	60
2.5.1.2. FORMACIÓN ATOCONGO (KI-PA) .....	60
2.5.1.3. DIQUES Y SILLS .....	65
2.5.1.4. DEPÓSITOS CUATERNARIOS .....	67
2.5.1.4.1. DEPÓSITOS ALUVIALES.....	67
2.5.1.4.2. DEPÓSITOS RESIDUALES .....	67
2.5.1.4.3. DEPÓSITOS TECNÓGENOS .....	69
2.5.2. RASGOS ESTRUCTURALES .....	69
2.5.3. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES:.....	69
2.5.3.1. UNIDAD COLINAS ALINEADAS:.....	70
2.5.3.2. UNIDAD LADERAS:.....	70
CAPÍTULO III : OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO.....	71
3.1. ANTECEDENTES: .....	71
3.1.1. MUESTREO POR EL MÉTODO DE CALICATAS:.....	73
3.1.2. MUESTREO POR FRENTES SUPERFICIALES. ....	78

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

3.2. ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL TAJO, STOCKS Y LOS BOTADEROS .....	80
3.2.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE BOTADEROS .....	80
3.2.2. MUESTREO PROPUESTO E IMPLEMENTADO .....	91
3.2.2.1. MUESTREO DE CAPAS ADOSADAS:.....	91
3.2.2.1.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE: .....	92
3.2.2.1.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO: .....	92
3.2.2.1.3. HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAL:.....	93
3.2.2.1.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:.....	96
3.2.2.1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA.....	100
3.2.2.2. MUESTREO POR CAMAS. ....	101
3.2.2.2.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE: .....	102
3.2.2.2.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO: .....	103
3.2.2.2.3. HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAL:.....	103
3.2.2.2.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:.....	105
3.2.2.2.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA.....	110
3.2.2.3. MUESTREO POR TRINCHERAS-CALICATAS .....	110
3.2.2.3.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE: .....	111
3.2.2.3.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO: .....	112
3.2.2.3.3. PREPARACIÓN DE MATERIAL:.....	112
3.2.2.3.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:.....	114
3.2.2.3.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA.....	118
3.2.2.4. MUESTREO DE DETRITOS.....	119
3.2.2.4.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE: .....	119

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

3.2.2.4.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO:	121
3.2.2.4.3. HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAL:	123
3.2.2.4.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:	125
3.2.2.1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA	127
3.2.3. PREPARACION DE MUESTRAS Y ENVÍO DE LABORATORIO:.....	128
CAPÍTULO IV : ESTUDIO GEOQUÍMICO Y DISEÑO DE MEZCLA .....	131
4.1. ZONIFICACION GEOQUIMICA DEL YACIMIENTO:.....	131
4.1.1. ZONIFICACIÓN CON LA VARIABLE CAO .....	131
4.1.1.1. EN SUPERFICIE: .....	131
4.1.1.2. EN PROFUNDIDAD:.....	132
4.1.2. ZONIFICACIÓN CON LA VARIABLE SO <sub>3</sub> (PLANO N°14) .....	133
4.1.2.1. EN SUPERFICIE .....	133
4.1.2.2. EN PROFUNDIDAD .....	134
4.1.3. ZONIFICACIÓN CON LA VARIABLE AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Plano N°15) .....	136
4.1.3.1. EN SUPERFICIE .....	136
4.1.3.2. EN PROFUNDIDAD .....	138
4.2. INTERPRETACIÓN DE SONDajes: .....	138
4.3. MODELAMIENTO GEOLÓGICO .....	139
4.3.1. DATOS UTILIZADOS:.....	139
4.3.2. SECUENCIA DE MODELAMIENTO:.....	140
4.4. ESTIMACIÓN DE RESERVAS: .....	144
4.5. ANALISIS DE MUESTRAS:.....	145
4.6. DISEÑO DE MEZCLA: .....	153
4.7. ANALISIS GEOESTADÍSTICO DE MATERIAL TRANSPORTADO:.....	156



TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

4.7.1. PROCESAMIENTO DE VARIABLES CUALITATIVAS .....	156
4.7.1.1. PROCESAMIENTO DE DOS VARIABLES CUALITATIVAS: .....	162
4.7.2. PROCESAMIENTO DE DOS VARIABLES CUANTITATIVAS: .....	165
4.7.3. PROCESAMIENTO DE VARIABLE CUANTITATIVA, SEGÚN UN FACTOR: .....	169
CAPÍTULO V : INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	174

#### TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

### **RESUMEN**

La Cementera que se ubica en el Distrito de Villa María del Triunfo en Lima, es la principal y más grande empresa productora de cementos en el Perú, es una empresa industrial dedicada a la producción y comercialización de Clinker y cemento, donde la materia prima de mayor importancia es la roca de origen sedimentario denominada caliza.

Actualmente, para la planta de producción de Clinker y cemento de Atocongo, esta materia prima se extrae de tres yacimientos no metálicos denominados Atocongo, Atocongo Norte y Pucará.

A partir de un diseño de "Blending", la caliza del yacimiento Pucará es transportada mediante volquetes a diferentes stocks y a la chancadora primaria de la planta, de acuerdo a la calidad de la roca (caliza de calidad media y baja); lo cual le permite al área de Materias Primas optimizar su uso y garantizar su aprovechamiento sostenido de acuerdo a los requerimientos de producción.

Actualmente, el tajo se encuentra en su etapa final de explotación, por lo que el Planeamiento de explotación de Caliza es de vital importancia y corresponde a un eficiente diseño de minado del tajo Pucara; concentrándose la explotación en los niveles inferiores (210-250) y superiores (430-520) del yacimiento, manteniendo el abastecimiento de caliza de acuerdo a los parámetros y especificaciones del sistema Integrado de Gestión y Control de Calidad (Laboratorio) y utilizando las maquinarias disponibles en el tajo de tal forma que el abastecimiento de caliza a la fábrica sea continuo en cantidad y calidad.

Realizar un proyecto de mejora de esta envergadura significa obtener una alta rentabilidad en costos, ya que los métodos propuestos mejoraran la calidad del material y aumentarán las reservas de calizas.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

## **CAPÍTULO I . INTRODUCCION Y ALCANCES GENERALES**

El presente estudio de Título se centra en la optimización del muestreo geológico y el estudio geoquímico de las calizas del yacimiento Pucará para el mejoramiento de la ley de corte y aumentar el tiempo de explotación del tajo principal. La investigación se inició con la recopilación de información existente de los diferentes métodos de muestreo empleados en los diferentes stocks, método de carguío de la caliza (ambos desde el 2010 hasta inicios del 2014), así como la ley de la caliza y la cantidad de reserva de cada botadero, stock y tajo principal, datos que necesariamente se deben conocer para poder elaborar una estrategia que permita optimizar los recursos de la caliza.

Actualmente, el destino de la producción de la caliza del yacimiento Pucará es muy diverso, siendo principalmente utilizada en el chancado primario para la industria del cemento, destino donde se utiliza la mayor cantidad de esta roca en la obtención del producto final y por el gran volumen de fabricación del mismo.

Luego de analizar la información preexistente del yacimiento Pucará, se implementa y detalla los nuevos métodos de muestreo y un análisis geoquímico para la ampliación de reservas, tanto del tajo como de los stocks y botaderos, por ser muy significativos en la prolongación del tiempo de vida del tajo Pucará. Dentro de este punto, se ha estimado reservas probadas de los niveles superiores, dejando como futura evaluación los niveles desde el 210 hasta el 270.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

El desarrollo de este proyecto será beneficioso para la optimización del uso de la caliza preexistente en los botaderos y stocks, en mejorar la ley de corte del tajo, lo cual permitirá prolongar la explotación del tajo y en una mejor determinación de las zonas de explotación en base al nuevo modelo de bloques de los niveles superiores del tajo.

**1.1. UBICACIÓN Y ACCESO:**

La Concesión Cristina, se ubica en:

Distrito : Compartido, entre Pachacamac y Lurin.

Provincia : Lima.

Departamento : Lima.

El yacimiento Pucará se encuentra ubicado dentro de la concesión Cristina, la cual a su vez, se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Pachacamac, entre los distritos de Pachacamac y Lurín, Provincia de Lima.

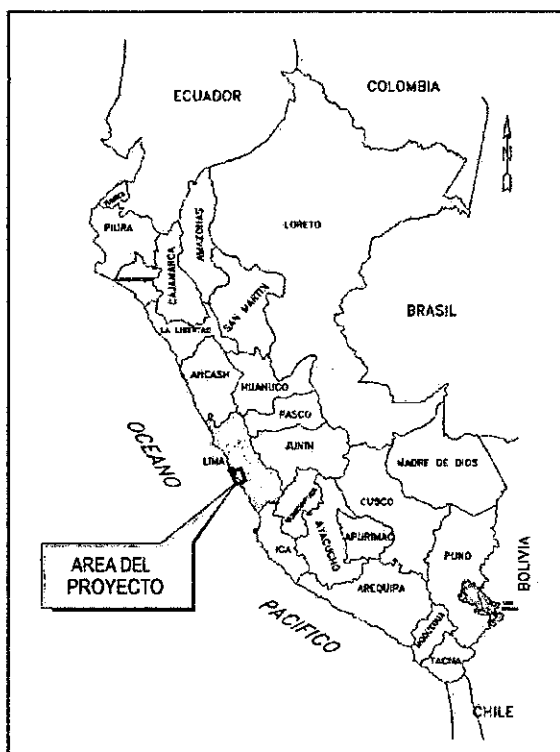
La concesión Cristina tiene como límites: en el extremo Norte la quebrada Río Seco, en el extremo Sur las inmediaciones de la quebrada Pucara, en el extremo Oeste la Pampa el Manzano y el Cerro el Sauce y hacia el extremo Este el Cerro Peñagaga. La Superficie de la concesión abarca una extensión de 850 ha.

El acceso a esta cantera se logra a través de la carretera Panamericana Sur hasta el puente Conchán y luego por la Panamericana Sur Antigua (Lurín), hasta el desvío hacia la fábrica de explosivos EXSA. Del desvío se continúa por el acceso a EXSA por unos tres kilómetros, continuando por una trocha

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

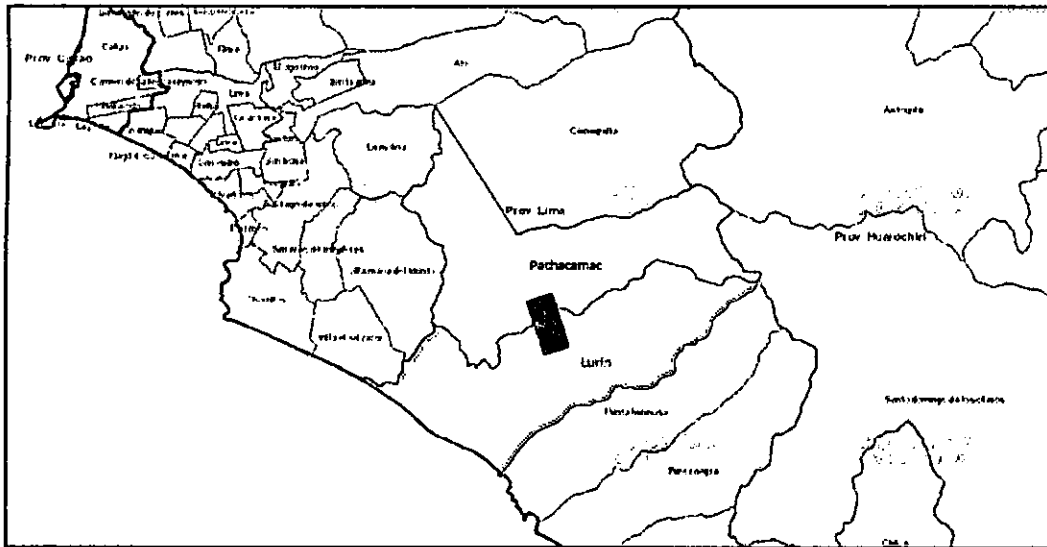
carrozable en dirección Este, hasta llegar a la quebrada Pucará, en un recorrido de aproximadamente cinco kilómetros y en un tiempo estimado de 25 minutos.



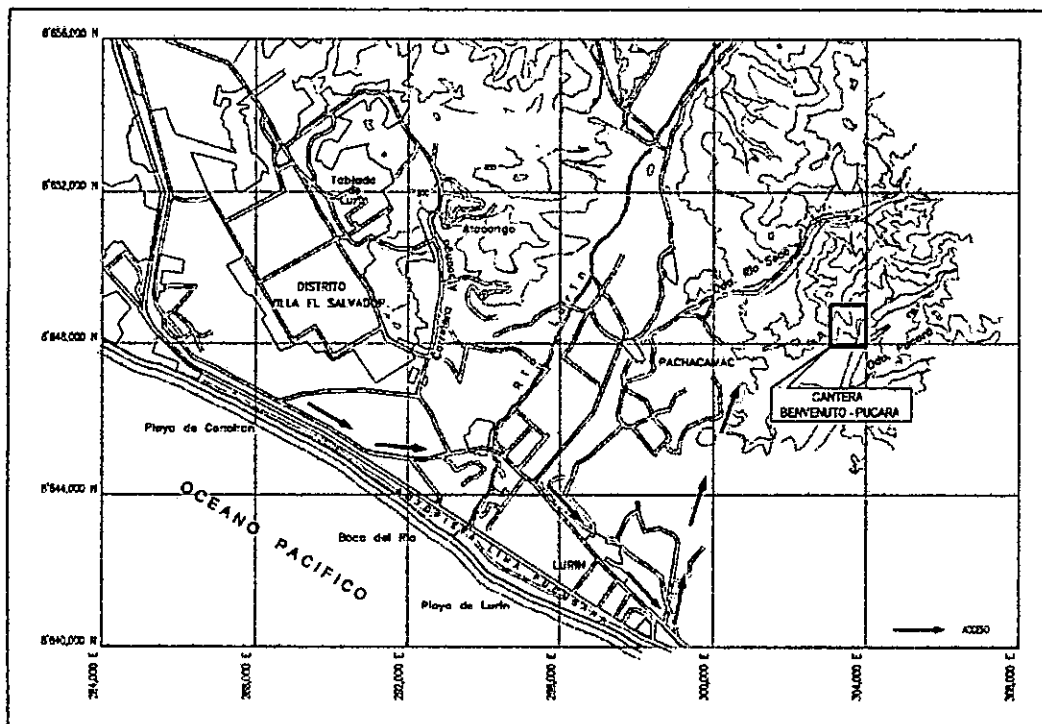
**Plano N°1:** Ubicación nacional de la U.E.A Pucará

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**



**Plano N°2: ubicación distrital de la concesión Cristina (U.E.A. Pucará)**



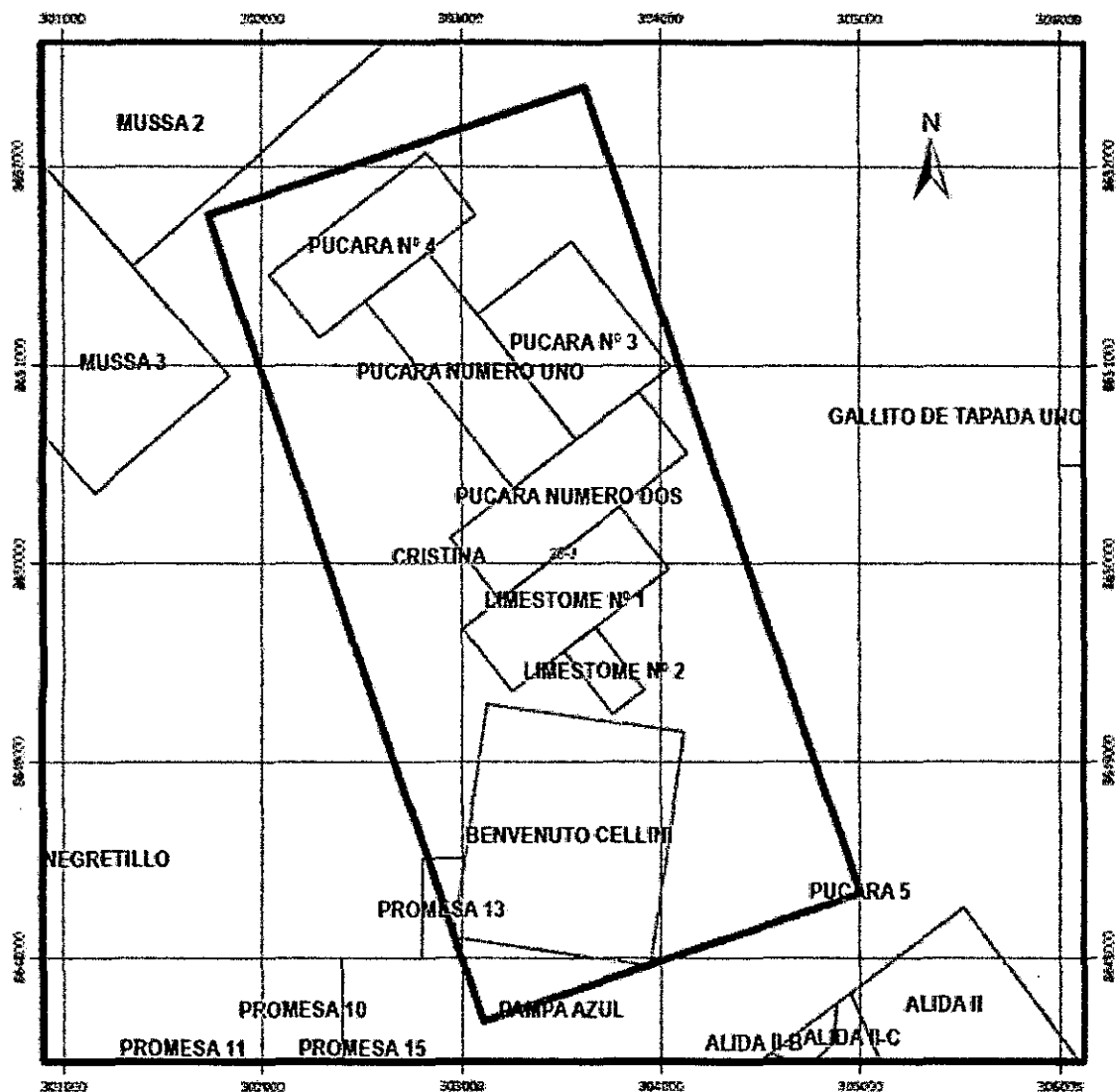
**Plano N°3: Acceso al yacimiento no metálico Pucará.**

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

## 1.2. PROPIEDAD MINERA:

En cuanto a la propiedad minera, el yacimiento Pucará forma parte de la concesión Cristina; la cual está rodeada por concesiones mineras metálicas y no metálicas: Pucara N°4, Pucara Numero Uno, Pucara N°3, Pucara Numero Dos, Limestone N°1, Limestone N°2 y Benvenuto Cellini, en este último se encuentra ubicado el tajo principal del yacimiento.



Plano N°4: Propiedades mineras de UNACEM S.A.A.

### **1.3.CLIMA Y VEGETACION:**

El clima en el Yacimiento es variado debido a la diferencia de cotas, correspondiendo a la faja costanera un clima desértico templado y húmedo, con lloviznas bajas entre Abril y Diciembre, y sol intenso entre Enero y Marzo con mayor insolación en las pampas y tablazos. La temperatura anual promedio es de 18° a 19° C. Según estudios climáticos (Joseph Tosi), la clasificación ecológica de la zona del Yacimiento corresponde a desierto subtropical. En la zona de lomas y colinas bajas el clima es húmedo con lloviznas típicas de lomas, con precipitación promedio anual de 200mm. Regionalmente, en zonas con alturas de más de 1,000 m. el clima es frío y seco, con abundantes precipitaciones en la época de verano, aumentando de intensidad en las partes altas. En los valles durante el día se tienen climas cálidos y en las noches climas fríos. En las mesetas altas el clima es frío y seco con persistentes heladas entre Mayo y Noviembre, y precipitaciones copiosas entre Diciembre y Abril con promedio anual de aproximadamente 1,000mm. En los últimos años los climas están variando haciendo más intensas las precipitaciones.

En el sector de Conchán donde el aporte de arena tiene como frente los afloramientos de la formación Pamplona, a la que cubren, se presenta un gran volumen en el cerro Lomo de Corvina. Este transporte de arena, cubriendo las laderas occidentales de los cerros aledaños a la Costa. La vegetación en la faja costanera y fuera de los valles es escasa. La agricultura se asienta sobre la cobertura aluvial a lo largo de los valles, principalmente en los valles de Chancay, Chillón, Rímac y Lurín. Se siembra productos de pan llevar, frutales



#### **TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

(especialmente manzana) y algodón. En la región de lomas crece una vegetación consistente en una flora xerofítica entre Junio y Agosto.

En las quebradas laterales del valle de Lurín existen ruinas (necrópolis) con vestigios de reservorios, lo que indica que en estas zonas ha existido crianza de ganado gracias a la vegetación existente en épocas pasadas.

#### **1.4.TOPOGRAFIA Y RELIEVE:**

El área del proyecto se ubica en el flanco derecho de la quebrada Pucará y al pie del cerro Lomas de Pucará, en un terreno que se extiende desde los 210 hasta los 580 m.s.n.m., en relieves que van de ligera a fuertemente inclinados y disectados, con pendientes que alcanzan hasta 70°, en los cuales además predomina un paisaje desértico con presencia de cactáceas y suelo con material cuaternario aluvial, gravas y bloques de arena de grano medio a grueso. La quebrada Pucará frecuentemente se encuentra seca.

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL:**

Los objetivos trazados a mencionar fueron: el aumento de reservas de la caliza en la U.E.A. Pucará, a partir de la homogenización y muestreo de los diferentes materiales preexistentes en los stocks, botaderos y tajo. Mejorar los parámetros del contenido del óxido de calcio, disminuir los valores de trióxido de aluminio, trióxido de azufre, etc., y dar garantía de la calidad del material transportado, con el fin que este ingrese directamente a la chancadora primaria de la planta principal en Atocongo; estos elementos de juicio han de utilizarse cualitativamente y cuantitativamente para proyectar y construir el presente estudio denominado, "OPTIMIZACION DEL MUESTREO

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

**Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO"**

**1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

1. Aumentar las reservas de caliza de la U.E.A. Pucará
2. Implementar un protocolo de muestreo eficiente.
3. Corroborar mediante el análisis geoquímico, la validez y eficiencia del muestreo.
4. Transportar material que cumpla con los parámetros de calidad requeridos para la elaboración de cemento, generando a la vez ahorro económico a la empresa.
5. Disminución de la ley de corte del yacimiento a partir del diseño de mezcla.
6. Cumplir con el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Piura, para optar el Título de Ingeniero Geólogo.

**1.6. METODOLOGIA DEL TRABAJO**

**1.6.1. ETAPA DE PREPARACION:**

En esta etapa se realizó la recopilación e interpretación de los siguientes informes:

- Análisis e interpretación del Estudio Geológico Concesión Cristina (SVS, 1999), en él se define el marco geológico superficial del yacimiento.
- Estudio Geológico, Concesión Benvenuto Cellini (SVS, 2004) en el describe un estudio geológico general del yacimiento Pucará.
- Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurin, Chancay y Chosica (INGEMMET, 1992). Este boletín describe la estratigrafía a nivel regional.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

Además, el análisis de las siguientes campañas de perforación diamantina:

- Registros de perforaciones diamantinas de los años 1999 y 2012.
- Resultados de análisis químicos realizados en las muestras de superficie (setiembre-octubre 2014) , de frentes y en testigos de perforación por aire reverso por las variables CaO, SO<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**1.6.2. ETAPA DE CAMPO:**

- Evaluación del material almacenado en los stocks, en las etapas previas al muestreo.
- Supervisión de operaciones mineras en la U.E.A. Pucará (Tractoreo en la elaboración de frentes homogenizados, cumplimiento de diseño de mezcla por parte del cargador frontal y volquetes, etc.)
- Muestreo de los diferentes stocks por los métodos de:
  - "Capas adosadas".
  - Camas.
  - Trinchera-calicata
- Mapeo geológico.
- Ore control de la caliza Pucará.
- Supervisión del levantamiento topográfico.

**1.6.3. ETAPA DE GABINETE:**

En gabinete se desarrollaron las siguientes actividades:

- Análisis de la cartografía geológica.
- Análisis, evaluación e interpretación de los valores obtenidos.
- Ensayo de Laboratorio de diversos elementos.
- Elaboración de planos geológicos y secciones.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

- Diseño de mezcla de material.
- Plan de adecuación.
- Procesamiento de información.
- Se utilizaron los programas: Autocad-Civil, Minesight y Vulcan.
- Redacción de la tesis.
- Cronograma de desarrollo de Tesis:

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo</b>
Recopilación de Información	1 mes
Trabajo de campo	6 meses
Trabajo en Gabinete	3 meses

## **CAPÍTULO II : MARCO GEOLOGICO**

### **2.1. GENERALIDADES:**

El estudio estratigráfico del área que comprende el presente informe se enmarca dentro de la cuenca de Lima, la cual se ubica en el sector occidental y central del Perú. Regionalmente, en ella se distinguen cuatro ciclos sedimentarios, que van probablemente desde el Jurásico hasta el Cretácico superior. Dentro de estos ciclos sedimentarios se han diferenciado, según el Boletín N°43 del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, unidades lito-estratigráficas definidas por cambios litológicos tanto verticales como horizontales, ya sean en dirección NO-SE como también NE-SO. La cronología fue determinada por la información paleontológica y las relaciones estratigráficas, y las dataciones radiométricas en las rocas del Batolito fueron realizadas principalmente por Cobbing, E. J. y Pitcher, W. S. Es de destacar que coetáneamente con la sedimentación se desarrolló una intensa actividad volcánica, la misma que en el sector costanero, tanto de Norte a Sur como de Oeste a Este, se interdigita con la secuencia sedimentaria para hacerse predominantemente volcánica a lo largo de la faja del borde occidental andino, coincidiendo aproximadamente con la zona de emplazamiento del Batolito de la Costa. El ciclo sedimentario más antiguo evidenciado, ubicado en el sector Norte-Este de Lima, corresponde a una facies volcánico-sedimentaria de edad Jurásico Cretácica, dentro de la cual se puede reconocer hacia el Este la Formación Arahua, y hacia el Oeste el Grupo Puente Piedra con volcanismo predominante cuyos focos magmáticos estuvieron hacia el Occidente y de edad ubicada entre fines del Jurásico y comienzos del Cretáceo. Le sigue un ciclo eminentemente sedimentario clástico de edad Neocomiano inferior y hacia la parte

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

oriental una facies eminentemente clástico de edad Neocomiano inferior y hacia la parte oriental una facie eminentemente volcánica denominada Formación Yangas, luego deviene en el Neocomiano superior un tercer ciclo con facies arcillo-calcárea representado por las Formaciones Pamplona y Atocongo, las mismas que constituyen una edad sedimentaria continua. Finalmente en el Albiano deviene nuevamente un ciclo sedimentario-volcánico con un volcanismo continuo hasta probablemente el Cenomaniano, controlado por la presencia de diferentes focos de emisión magmática ubicados en el sector oriental del área. Este ciclo está representado por el Grupo Casma, el mismo que, tanto al norte como al sur de Lima ha sido diferenciado en varias formaciones, caracterizadas por secuencias litológicas diferenciables y cartografiables, constituyendo unidades lito-estratigráficas, pero que en gran parte se componen de una acumulación volcánica monótona, sin fósiles y pobremente estratificadas, lo que dificulta su correlación con las formaciones sedimentarias que tienen límites de base y tope reconocidos. La sedimentación mesozoica al Este, tiene encima discordante a la serie continental Terciaria representada por una gruesa acumulación predominantemente volcánica que ocupa el sector Este y Nor Este del área de estudio. El Batolito de la Costa ha intruido al paquete sedimentario y volcánico causando un metamorfismo térmico notable, silicificando las rocas pre-existentes y/o dando lugar a pizarras, cuarcitas y mármoles. Así mismo es importante anotar para toda el área, el emplazamiento de numerosos diques andesíticos, vinculados al magmatismo de Casma o manifestaciones tardías del Batolito. En la zona andina alta sobre las rocas volcánicas terciarias, se encuentran depósitos testigos de una actividad en forma de fluvio glaciares y en la faja costanera sobre la

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

secuencia marina mesozoica se asientan los depósitos cuaternarios aluviales, fluvio aluviales y eólicos, teniendo importancia económica los primeros, como materiales de construcción. A continuación se describen las unidades estratigráficas, tanto de la zona costanera como de la zona del borde occidental andino hacia el Este.

## **2.2. GEOLOGIA REGIONAL**

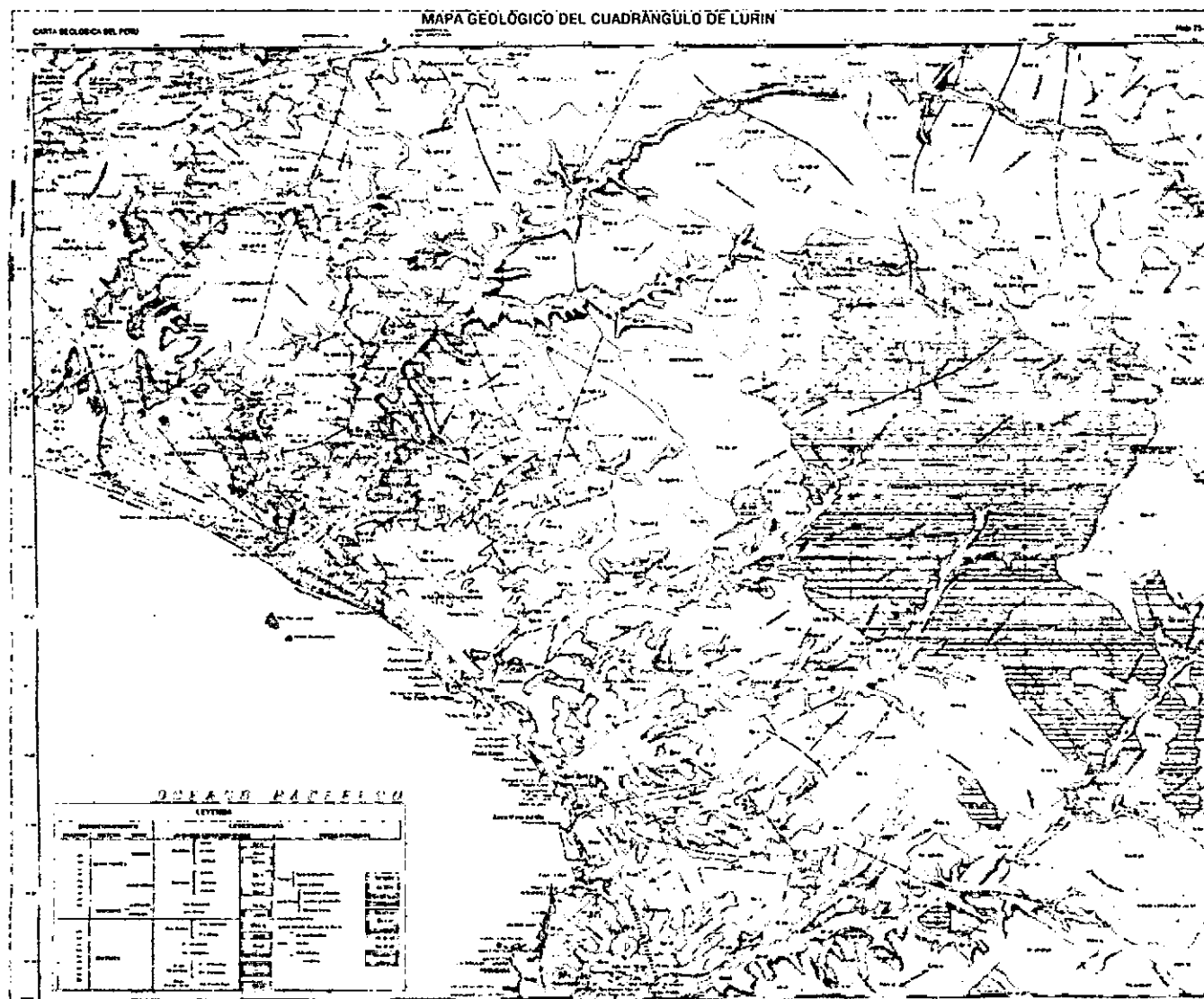
### **2.2.1. ESTRATIGRAFIA**

#### **2.2.1.1. MESOZOICO:**

##### **2.2.1.1.1. GRUPO PUENTE PIEDRA:**

Secuencia volcánico-clástica que aflora en los alrededores de Puente Piedra; han sido descritos dos miembros de abajo hacia arriba: Puente Piedra inferior y Puente Inga (arcillo-tobáceo con fósiles). CASTRO BASTOS L. (1962) identifica la presencia del Miembro Puente Inga en la margen izquierda del río Lurín con una fauna y litología similares a la localidad típica, en la parte baja del cerro Punta Blanca (Loma Los Manzanos) adoptando una estructura anticlinal debajo del Grupo Morro Solar. En el Estudio Geológico Tectónico del Área de Lima (1981) se han diferenciado en el valle del Chillón, formaciones que se denominan: Volcánico Santa Rosa (Puente Piedra Inferior) y Formaciones Puente Inga, Cerro Chillón y la Pampilla (Puente Piedra Superior).

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Plano N°5.** Geología Regional, Cuadrángulo de Lurín, Hoja 25-J del Boletín N° 43  
(INGEMMET).



TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**2.2.1.1.1.1. VOLCÁNICO SANTA ROSA:**

En la parte superior, predominan metandesitas porfíricas, derrames andesíticos porfíricos y microporfíricos brechoides de matices gris y gris verdoso y algunos horizontes de brechas y aglomerados compuestos mayormente de fragmentos volcánicos en una matriz andesítica gris clara. Esta secuencia volcánica se presenta en gruesos horizontes sin estratificación conspicua, en algunos casos con estructuras nodulares y amigdaloides; las amígdalas están rellenas de calcita y cuarzo. El metamorfismo que afecta a estas rocas posiblemente sea el de contacto por la intrusión del Batolito de la Costa. El análisis petrográfico clasifica a estos volcánicos como meta-andesitas porfíricas a andesitas microporfíricas. El grosor de esta unidad es del orden de los 200 m.

**Edad y Correlación.-** En los cerros adyacentes de la Hacienda Pro se observa una secuencia volcánico-sedimentaria similar al tope de la secuencia inferior. En las cumbres de los cerros y sobre un sill dacítico aflora una serie constituida por areniscas finas, grawacas y cuarcitas conteniendo amonites del género *Substeueroceras* cf. *S. Koeneni* (STEUER) y *Berriasellidae* indicando el Titoniano-Berriasiano. La especie mencionada determina una zona paleontológica del Titoniano superior en Argentina y Chile. En consecuencia se asigna a esta unidad una edad Berriasiano.

**2.2.1.1.1.2. FORMACIÓN PUENTE INGA**

Sobreyace concordantemente a los volcánicos del Santa Rosa e infrayace a la Formación Ventanilla.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

La serie es predominantemente sedimentaria, caracterizada por presentar horizontes lenticulares de lutitas tobáceas, muy fosilíferas, finamente estratificadas, fácilmente fisibles en láminas delgadas, suaves al tacto y pigmentadas por oxidaciones limoníticas, que se intercalan con derrames volcánicos.

En el cuadrángulo de Lurín se le encuentra constituyendo el núcleo del anticlinal en Lomas Los Manzanos, en contacto fallado contra la secuencia arcillo-limosa del grupo Morro Solar tanto en el flanco Occidental como en el Oriental.

Esta serie se ha dividido en tres unidades, las que son descritas como miembros, siendo de la base al tope, las siguientes:

- Miembro inferior : serie volcánico-sedimentaria
- Miembro medio : serie volcánico
- Miembro superior : serie sedimentaria

Las lutitas tobáceas de la Formación Puente Inga, por su litología y abundancia de fósiles, constituyen horizontes guías que facilitan la correlación de las unidades volcano-sedimentarias de la base de la columna geológica de la cuenca de Lima.

A la altura del km. 30.5 de la Panamericana Norte, dentro de las areniscas se encontró un fragmento de ammonite, cuya clasificación realizada en el Departamento de Paleontología del INGEMMET, da como género *Lissonia riveroi* (LISSON) de probable edad Valanginiano medio-superior. Al confirmarse esta edad, la serie volcánico sedimentaria superior podría abarcar los pisos Titoniano, Berriasiano y parte del Valanginiano.

**Edad y correlación.-** Por la fauna descrita y la posición estratigráfica que ocupa esta formación se ubica en el límite Jurásico-Cretácico, y con mayor precisión en el Berriasiano-Valanginiano; es decir en la base del Cretácico.

Se le correlaciona con la Fm. Chicama de la cuenca Noroccidental peruana.

#### **2.2.1.1.2. GRUPO MORRO SOLAR**

El Grupo Morro Solar tiene su exposición más completa dentro del cuadrángulo de Lima, en el cerro homónimo (Chorrillos), de donde se prolonga al Noroeste, por las Islas San Lorenzo y El Frontón conservando sus rumbos, y al Este por la Campiña, cerrando el anticlinal de Lima. La secuencia estratigráfica se define en la columna estratigráfica generalizada de Lima-Lurín (Figura 01)

##### **2.2.1.1.2.1. FORMACIÓN SALTO DEL FRAYLE**

La Formación Salto del Frayle está constituida por cuarcitas compactas de color blanco grisáceas a gris parduzcas en bancos medianos a gruesos con buena estratificación cruzada, que evidencian un medio sedimentario litoral. Se intercalan lutitas gris azuladas a verdosas mostrando estructuras de sobrecarga debido al peso de las capas superiores. Le sobreyace concordante la Formación Herradura. Sus afloramientos destacan en el flanco del cerro Morro Solar formando los acantilados entre las playas de Agua Dulce y Herradura, donde se encuentra su localidad típica, los acantilados del Salto del Frayle, constituyendo la base de la secuencia clástica de Chorrillos. Su grosor

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

es de 100 metros aproximadamente. Al Sur de Lima (valle de Lurín) no aflora por lo que se podría inferir su desaparición por lenticularidades.

#### **2.2.1.1.2.2. FORMACIÓN HERRADURA**

Descansa concordante sobre la Formación Salto del Frayle e infrayace igualmente concordante a la Formación Marcavilca.

En el valle de Lurín presenta ciertos cambios, aunque conservando siempre su característica de clásticos finos y oscuros y como tal se ha observado en Lomas de los Manzanos, lutitas arcillosas negras interpuestas con areniscas limosas oscuras en capas delgadas pasando a la parte superior a areniscas micáceas gris oscuras de grano medio en capas delgadas que se fracturan en lajas y hacia el tope lodolitas gris oscuras interpuestas con un nivel de caliza silícea blanca. Esta formación es una unidad incompetente dentro del Grupo Morro Solar debido a su litología arcillosa, viéndose esto favorecido por su contenido de sales como yeso y cloruro de sodio, probablemente como producto de fenómenos diagenéticos en un medio salino.

FERNANDEZ CONCHA J. (1958) reconoció en esta formación dos miembros cuya litología se describe a continuación:

**Miembro La Virgen.-** Constituido por lutitas gris oscuras a negras en estratificación fina, laminadas, fisibles y carbonosas, conteniendo pirita y nódulos calcáreos achatados, intercalándose areniscas de grano fino grises a amarillentas de composición cuarzosa, conteniendo sales. Su grosor se estima entre 50 y 60 m. encontrándose sus exposiciones típicas en la falda Noroeste del cerro Morro Solar, cerca de la estatua de la Virgen.

**Miembro Herradura** .-Descansa en contacto gradacional sobre el Miembro La Virgen, tiene areniscas cuarzosas, en parte verdosa-amarillentas laminadas en estratificación delgada en la parte inferior y gruesa en la parte superior, seguido de lutitas gris a negras, intemperizando a marrón rojizo, en partes modulosas. En la parte superior contiene calizas gris oscuras en estructura pizarrosa que marca el paso a la unidad superior (Miembro Morro Solar de la Fm. Marcavilca). Su grosor se estima entre 60 y 70 m.

#### **2.2.1.1.2.3. FORMACIÓN MARCAVILCA**

Esta formación descansa en contacto normal sobre la Formación Herradura y subyace a la Formación Pamplona. Sus afloramientos se extienden desde el Morro Solar en Chorrillos donde tiene su localidad típica, hasta el Norte de Lima (espalda de la Universidad de Ingeniería) prolongándose hasta el valle del Chillón. Al Sur se le encuentra en el valle de Lurín, encontrándose adyacente al pueblo de Pachacamac, así como en los sectores de los cerros Flor de Nieve, El Sauce y Rinconada de Lurín. FERNANDEZ CONCHA J. (1958) la divide en su localidad típica en tres miembros, cuyas características son las siguientes:

**Miembro Morro Solar.-** Esta secuencia constituye el miembro inferior de la Formación Marcavilca, descrito en el lugar donde está el monumento al "Soldado Desconocido". En la base de este miembro se tiene un cambio gradual de la facies arcillosa (Formación Herradura) a una facies areniscosa (Fm. Marcavilca), siguiendo luego intercalaciones de arenisca en bancos delgados con niveles lutáceos pasando un color oscuro en la parte inferior a rojizos en la parte superior, areniscas abigarradas con tubos de anélidos y hacia el

techoareniscas cuarzosas que luego pasan a cuarcitas interestratificadas con niveles limolíticos gris verdosos. Su grosor se estima en 65 m.

**Miembro Marcavilca.-** Esta secuencia constituye el miembro medio, caracterizado por las rocas más competentes, duras y compactas de todo el grupo. Su litología corresponde a una facies litoral de aguas agitadas por corrientes que han dado lugar a una buena clasificación del grano y a una estratificación cruzada conspicua. La roca predominante es la cuarcita gris blanquecina, con cemento silíceo variando en algunos niveles a rosado violáceo, de grano medio a grueso y hasta microconglomerádico. Se observan en menor proporción lutitas de color ocre por las oxidaciones ferruginosas (limonita). Su grosor varía entre 100 a 120 m.

**Miembro La Chira.-** Esta secuencia constituye el miembro superior, formando el techo del grupo en el Morro Solar, su nombre proviene de la playa La Chira donde presenta una buena exposición constituida por areniscas cuarcíticas blancas sacaroideas con estratificación cruzada muy conspicua y arenisca cuarzosa de color chocolate por su contenido de motitas de limonita. Este miembro parece que se trataría de una deposición lenticular, pues tanto al Norte como al Sur de Lima (valles de Chillón y Lurín) no aparece. Su grosor en la playa La Chira alcanza de 50 a 60m.

Los miembros que mantienen una mayor uniformidad litológica lateral son los miembros Morro Solar y Marcavilca, cuyas rocas evidencian una secuencia, primero nerítica (areniscas y lutitas) para hacerse posteriormente más litoral (cuarcitas y areniscas) indicando un proceso regresivo. El grosor total para el Grupo Morro Solar en el

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

cerro homónimo (Chorrillos) es de casi 400 m., disminuyendo a 250 m. en el valle del Chillón e igualmente en el valle de Lurín.

EADAS		UNIDADES ESTRATIGRAFIC.	GROSOR EN Mts.	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CEMOZOT.	CUAT.	Dep. Co. Dep. fl. Dep. al. Dep. marinos				
MESOZOICO						
CRETACEO						
SUPERIOR		ALBIANO - CENOMANO	GRUPO CASMA	VOLCANICO QUILMANA	700	Piroclásticos y derrames andesíticos masivos, con niveles de lavas de estrecho alveolado y amigdalita con intercalación esporádica de estratos volcánicos.
MEDIO		ALBIANO INF. APTIANO SUP.	FORMACION ATOCONGO		750	Secuencia sedimentaria volcánica. Consolidada por intercalación de areniscas volcánicas lutitas, grauwacas y calizas fuertemente estrat. con ondulito y docitos. Piroclásticos - Barroicóenos. Derrames y piroclásticos volcánicos Andesítico - dacítico, con horizontes de lavas almohadillas.
INFERIOR		APTIANO MED. BARREMIANO HAUTERVIANO VALANG. SUP.	FORMACION PAMPLONA		300	Bancos gruesos de calizas gris claro a beige, altamente silicificados por metamorfismo termal.
		VALANG. MED.	FORMACION MARCVILCA		700	PARAOPLITES  Calizas oscuras interbedadas con lutitas y margas
		BERGASIANO SUPERIOR	GRUPO MORRO SOLAR FORMACION HERRADURA FORM. SALTO DEL FRATLE		245 130 ± 100	OLCOSTEPHANUS  Areniscas cuarcíticas de grano fino a medio, blancas, verdes y grises.
JURASICO		BERGASIANO TITONIANO	GRUPO PUENTE PIEDRA		2,280	Lutitas (lías) de tipo pizarroso de color negro, gris con areniscas pardas. RAIMONDICERAS RAIMONDI GAB Bancos de conchitos gris claro en la parte superior; calizas oscuras y areniscas volc. en la base, con horiz. volc. INOCERAMUS Horizontes lenticulares de lutitas lúbeas oblicuadas en la parte sup. e intercalaciones de derrames y brechas volcánicas con limolitas, arenitas y lutitas pizarrosas en la base.
						AMONITES - LAMELIBRANQUEOS Y PLANTAS

Figura N°1. Columna Estratigráfica generalizada de Chancay-Chosica, Lima-Lurín  
(Zona Costera), tomado del Boletín N° 43-INGEMMET.

### 2.2.1.1.3. FORMACIÓN PAMPLONA

La Formación Pamplona marca el inicio de una transgresión que alcanza su pleno desarrollo con la Formación Atocongo. Su espesor es considerable y se extiende al Sur por San Juan, Pachacamac y Lurín hasta Lomas Flor de Nieve, Capilla de Lúcumo y estación terrena de Lurín, Lomas de Los Manzanos, siguiendo hasta el Sinclinal de Pachacamac. Sus facies se mantienen uniformes hasta Punta Hermosa, para perderse debajo de una secuencia volcánica brechoide, la que se le asigna a la Formación Chilca del Grupo Casma. Su exposición típica, en los cerros Pamplona y Cascajal, presenta en la base calizas grisáceas en bancos delgados alternando con lutitas limolíticas amarillo rojizas con niveles tobáceos, margas gris verdosas y películas de yeso. Hacia la parte media, se observan calizas gris oscuras en estratificación delgada, las mismas que por oxidación dan coloraciones rojizas, intercaladas con lutitas gris verdosas y margas a veces oscuras con contenido de material carbonoso.

En la parte superior continúa la secuencia con similares características con aparición de niveles de chert, los que se manifiestan igualmente en la parte inferior de la Formación Atocongo. Su grosor total se estima entre 600 y 700 m. Atraviesan la secuencia numerosos diques y sills de composición andesítica, silicificando la caliza.

**Edad y Correlación.-** La edad de la Formación Pamplona ha sido corroborada por la presencia del ammonite *Olcostephanus* cf. *asterianus* D'ORBIGNY y *Olcostephanus* cf. *O. Jeanotti* D'ORBIGNY en los niveles inferiores de la secuencia, en las lomas de Monterrico (espalda del Colegio Inmaculada) aldaño al C° Cascajal, así como al Nor Oeste de



Carabaylo. Este fósil determina el Valanginiano tardío y más propiamente el Hauteriviano.

De otro lado en las lomas Lúculo (valle de Lurín) se ha encontrado el equinodermo *Enallaster texanus*, en el tope de la secuencia, (cerca al límite con la Formación Atocongo), lo cual nos indica el Aptiano. Se puede entonces aseverar que la Formación Pamplona comprende edades desde fines del Valanginiano hasta comienzos del Aptiano; es decir el íntegro de los pisos Hauteriviano-Barremiano.

Se le correlaciona con la Formación Santa del Norte y Centro de los Andes Peruanos.

#### **2.2.1.1.4. FORMACIÓN ATOCONGO**

Debe su nombre a las calizas de la localidad de Atocongo, donde presenta su mejor desarrollo, allí se ubican las canteras que explota la fábrica de cemento UNACEM S.A. Sus facies son la continuación de la Formación Pamplona, de allí que su contacto sea normal y gradacional, pasando de una facies arcillo-calcárea a una facies calcárea de mayor profundidad. Sus exposiciones hacia el Sur-este, se evidencian en el flanco oriental del anticlinal de Los Manzanos, llegando hasta lomas de Lúculo, donde se cierra la estructura sin pasar más al Sur, desapareciendo debajo de la Formación Chilca (Grupo Casma).

En la localidad típica se tiene de abajo hacia arriba:

- a) Calizas margosas en capas delgadas de 5 a 10cms. finamente laminadas.
- b) Calizas afaníticas gris plomizas en capas de 10 a 30cms. en la parte inferior, pasando hacia arriba a estratos más gruesos de 50 a 80 cm. formando paquetes masivos.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- c) Skarn gris, afanítico.
- d) Calizas metamorfizadas, afaníticas con tonalidades oscuras en capas moderadas.
- e) Bancos gruesos de calizas silicificadas masivas de tres tonos verdosos a grises, parcialmente con fenoblastos de cuarzo q los contactos y una andesita intrusiva.
- f) Intercalaciones de calizas grises beige a gris oscuras con margas de color gris claro.
- g) Calizas metamorfizadas y areniscas en paquetes gruesos interpuestos con paquetes delgados. Litología parecida se observa en puente Manchay, donde se ha considerado unos 300 m. de calizas oscuras y limolitas con capas de chert.

En la localidad de Atocongo, el contacto con la Formación Pamplona se observa fallado, estando además intruido por cuerpos granitoides del batolito lo cual impide observar la secuencia completa. Su grosor debe alcanzar de 250 a 300m. En Lurín su litología es similar, allí también se explotan algunas canteras para la fabricación de cemento, siendo los bancos igualmente masivos, bastante inclinados y existiendo fallas intraformacionales, que repiten la secuencia. Las calizas Atocongo se encuentran intruídas por las facies marginales del Batolito Costanero, generalmente dioritas e hipabisales (andesitas), lo que ha dado lugar a algunos niveles recrystalizados y/o marmolizados con venas de calcita como relleno, disseminación de pirita y por alteración manchas de azufre. Así mismo en partes se encuentra una fuerte silicificación transformándose en muchos casos a cherts de color gris claro, masivo y en bancos compactos. Las calizas se alternan con algunos horizontes

delgados de margas, sills y derrames andesíticos, observándose mayor predominancia de volcánicos al tope de esta formación. En muchos lugares las calizas se encuentran fuertemente deformadas por plegamiento.

#### **2.2.2.1.5. GRUPO CASMA:**

Este grupo marca regionalmente el inicio de otro ciclo sedimentario-volcánico, el mismo que se encuentra ampliamente desarrollado al Norte de Lima, en la costa del departamento de Ancash y en la Cordillera Negra donde MYERS J. (1980) ha reconocido más de 6,000 m. de una secuencia volcánico-sedimentaria marina en la parte inferior, seguido en la parte superior de volcánicos sub-aéreos.

En el área de Lima, el Grupo Casma también ha sido dividido en unidades litoestratigráficas definidas por una secuencia volcánico-sedimentaria en la parte inferior y otra netamente volcánica en la parte superior. Así, al Sur de Lima (sector costanero del cuadrángulo de Lurín) se reconoce a la Formación Chilca, sobreyaciendo concordante una serie volcánica masiva que se conoce como Volcánico Quilmaná prolongándose estas unidades a la hoja de Chosica. A continuación, se describen estas formaciones:

#### **Formación Chilca**

Al Sur de Lurín, y en contacto concordante sobre la Formación Pamplona, se extiende una secuencia volcánico-sedimentaria constituida en su parte inferior por calizas y rocas clásticas intercaladas con derrames volcánicos y hacia la parte superior casi íntegramente volcánica.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

En el corte de la carretera Panamericana Sur, a la altura de Punta Hermosa, se puede apreciar la base constituida por material brechoide, grawacas y derrames andesíticos que descansan sobre secuencias pelíticas de la Formación Pamplona.

En la quebrada Chilca la secuencia inferior tiene niveles de caliza que se pierden lenticularmente en dirección Noroeste por el cerro Vibora (al Este de la garita de control de Pucusana). Sobre las calizas se tiene bancos de areniscas con matriz calcárea y horizontes conchíferos (coquinas) formados por restos de lamelibranquios y gasterópodos, dentro de los que se ha recolectado fósiles mal conservados.

La secuencia clástica es de origen volcánico, tipo brechoide, constituida la base de un material de erosión y deposición rápida, la cual no aparece al Norte de Lurín, probablemente porque entre Punta Hermosa y San Bartolo pudo haber existido un paleorelieve positivo que separaba la subcuenca de Lima con la subcuenca de Chilca.

**Edad y Correlación.-** La base de la Formación Chilca constituye en esta área la base del Grupo Casma considerada en la Costa Norte como Albiano MYERS J. (1978) y GUEVARA C. (1980). Las calizas que conforman la parte inferior parecen ser equivalentes a las calizas de la Formación Atocongo del área de Lima.

En la quebrada Chilca y específicamente en el cerro Bartolo los fósiles encontrados en areniscas y calizas grises bioclásticas, han sido clasificados por RANGEL C. – INGEMMET; como *Tellina* c.f. *T. carteroni* D'ORBIGNY, *Grassatella* cf. *C. caudata*. GABB, *cyprina* sp. *Cardium* sp. Se les atribuye una edad Aptiano-albiano.

Se le correlaciona en las Formaciones Punta Gramadal y la zona de la costa del departamento de Ancash y con la Formación Cochapunta del sector Oriental de la misma.

### **Volcánicos Quilmaná**

Sobre la Formación Chilca se tiene una serie íntegramente volcánica, la misma que pasa en continuidad de la hoja de Lurín a las de Chosica y Chancay, extendiéndose al Noreste hasta el borde occidental andino. Al Este de Lurín, estos volcánicos descansan directamente sobre la Formación Atocongo y en valle del Rímac se les encuentra como techos colgantes afectados por el Batolito. A lo largo del Batolito han sido metamorfozados, constituyendo una meta andesita de color oscuro, dura y en partes silicificada; tal como se puede ver en la localidad de Santa Clara, Km. 21 de la Carretera Central.

Litológicamente está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados, de textura porfírica, destacando los fenos de plagioclasa de una pasta fina o microcristalina de coloración gris a gris verdosa y en menor proporción doleritas y diabasas.

Al Sur en el valle de Chilca, en la unión con la quebrada de Alpocoto, aparecen dentro de estos volcánicos horizontes sedimentarios constituidos por areniscas arcósicas de grano fino.

El espesor total en el valle de Chilca se estima entre 600 y 700 m. disminuyendo su grosor en el valle de Chillón donde alcanza grosores variables que van de 100 a 300 m.

**Edad y correlación.-** La edad de los volcánicos Quilmaná, aunque no está determinada con pruebas paleontológicas, es evidente que puede

estar entre el Albiano o tal vez el Cenomaniano Inferior en la base, sin fijarse con precisión al techo, el mismo que pudiera estar en el Cenomaniano superior o Turoniano pero sin llegar al límite superior del Cretáceo, pues en partes se encuentra instruido por rocas del batolito (Superunidad Patap) datados con 95 y 102 m. a (PITCHER W. 1978).

#### **2.2.1.2. CUATERNARIO**

##### **✓ Depósitos marinos**

Se trata de depósitos litorales, caracterizados por materiales clásticos, llevados al mar como carga por los ríos y también como resultado de la acción erosiva de las olas y distribuidos por corrientes marinas de deriva. Estos depósitos que han existido siempre y continúan formándose en los actuales tiempos, se les encuentra a lo largo de la línea de costa, ploteados en las hojas de Chancay, Lima y Lurín y habiéndoseles clasificado como Depósitos Marinos Pleistocénicos (los más antiguos) y Depósitos Marinos Recientes (los más modernos).

##### **✓ Depósitos aluviales**

Estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por los ríos que bajan de la vertiente occidental andina cortando a las rocas terciarias, mesozoicas y Batolito Costanero, tapizando el piso de los valles, habiéndose depositado una parte en el trayecto y gran parte a lo largo y ancho de sus abanicos aluviales, dentro de ellos tenemos: aluviales Pleistocénicos (más antiguos) y aluviales recientes.

✓ **Depósitos eólicos**

Estos tipos de depósitos se encuentran emplazados en casi todas las proximidades de la costa, ingresando a diferentes distancias tierra adentro, siguiendo la topografía local y la dirección preferencial de los vientos.

Dichos depósitos están acumulados tanto sobre rocas in situ como en llanuras aluviales, pero tienden a alcanzar su mayor grosor en los taludes y en los lugares donde se presentan ligeros desniveles.

Los materiales eólicos tienen su procedencia en las arenas de playa formadas por la acción de las olas o de los sedimentos llevados al mar por los ríos y distribuidos por las corrientes marginales a lo largo del litoral.

## **2.2.2. ROCAS INTRUSIVAS**

Las rocas intrusivas reconocidas en los cuadrángulos de Chancay, Lima, Lurín y Chosica corresponden a cuerpos subvolcánicos de intrusiones tempranas, y a cuerpos plutónicos que constituyen el batolito de la costa; así como algunas intrusiones subvolcánicas menores de emplazamiento posterior.

### **2.2.2.1. INTRUSIONES SUBVOLCÁNICAS**

Se trata de cuerpos hipabisales, emplazados cerca a la superficie en forma de diques, sills o stocks, los mismos que cortan a la columna sedimentaria de Lima desde el Grupo Puente Piedra hasta el Grupo Casma, probablemente como manifestaciones tardías del vulcanismo Casma y/o como intrusiones precursoras del Batolito.

Los diques y sills que se observan en el C° Morro Solar cortando a las Formaciones Salto del Frayle y Herradura, y en el C° Cascajal a las Formaciones Pamplona y Atocongo son parte de estas intrusiones sub-

#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

volcánicas. Se caracterizan por su composición mayormente andesítica, de coloración verdosa, con pasta microgranular, en algunos casos porfíroides como ocurren en muchos sills entre Atocongo y Lurín. Cuando se trata de diabasas (al Sur de Lurín) la roca presenta una coloración casi negra. Los stocks son cuerpos de regular dimensión que se extienden marginales al Batolito y que intruyen a las Formaciones Chilca y Quilmaná en el Sur y a la Formación Atocongo, Formación Huarangal y Formación Quilmaná entre el valle de Lurín y el valle del Chillón. Se trata también de rocas andesíticas, las que en estudio macroscópico tienen como característica física su color verde, con fenos de plagioclasas tabulares, dentro de una pasta afanítica microlítica y algunos cristales de tremolita-actinolita. Como minerales accesorios se ven hornblendas, clinopiroxenos, cuarzo y como minerales secundarios calcita, hematita, sericita y limonita

Donde estos cuerpos intruyen a la Formación Atocongo causan cierto metamorfismo en las calizas, mostrando en algunos casos nódulos de calcita cristalizada con una deformación dinámica.

**Edad.-** Si tenemos en cuenta que intruye a la Formación Atocongo y al Grupo Casma y que a su vez son intruídos por el Batolito se infiere su edad como Cretáceo superior.

#### **2.2.2.2. EL BATOLITO DE LA COSTA**

Las rocas intrusivas plutónicas fueron reveladas por COBBING; habiéndose adaptado la clasificación y nomenclatura establecida por PITCHER W. (1978) en unidades consanguíneas que tienen idénticas relaciones, la misma variación modal y de alguna manera la misma fábrica y textura, y han sido denominadas Súper familias o Súper Unidades. Estas a su vez se agrupan en tres grandes segmentos conocidos como: Segmento Trujillo,



desde Chimbote hacia el Norte; Segmento Lima, entre Chimbote y el Sur de Lima (Qda. Tinajas- Lurín), finalmente Segmento Arequipa, entre el Sur de Lima y Arequipa.

En el área del valle de Lurín y específicamente en la quebrada Tinajas se dan cambios petroquímicos en las Súper unidades, al pasar del Segmento Lima al Segmento Arequipa, Así por ejemplo la Superunidad Santa Rosa es reemplazada por la Superunidad Tiabaya aumentando su contenido potásico.

El orden cronológico, de lo más antiguo a lo más joven es el siguiente:

#### **2.2.2.2.1. SUPERUNIDAD PATAP**

Esta Súper familia está constituida por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del Batolito, emplazados al lado occidental del mismo, con intervalos que pueden variar entre 84 y 102 m.a. (PITCHER W. 1985).

**Gabros y Gabrodioritas.-** El principal cuerpo gabroide ocurre en C° Colorado al sureste de Lima, entre Atocongo, La Molina y la quebrada Manchay, presentando en sus partes marginales gradación a una diorita básica de color oscuro por los ferromagnesianos que contiene y que la hacen diferente a las dioritas de las otras Superfamilias, mostrando en su parte interna variaciones complejas de anfíboles y piroxenos.

Desde Atocongo, continúa en forma de pequeños stocks por la Molina, Cerro El Agustino (cuadrángulo de Lurín), Cerro Mirador y Negro en la quebrada Canto Grande (cuadrángulo de Chosica). Al sur se le encuentra en el mismo pueblo de Lurín. Intruyen a las rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico a las que metamorfizan, dando lugar a contactos externos por lo general verticales. A su vez son intruídos por los cuerpos más jóvenes del Batolito, pertenecientes a la Superunidad

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

Santa Rosa, y/o por los cuerpos ácidos menores como la adamelita de Atocongo, mostrando una reorientación de los minerales.

En muchos casos los gabros cortan a estratos albianos y deben por tanto ser más jóvenes que 107 m.a., Pitcher et al. (1985).

De todos modos parece cierto que estos cuerpos son Cretáceos. STEWART et. al. (1974) ha datado una muestra de gabrodiorita extraída de Machay, habiendo obtenido, por el método K/AR 89 + -2 m.a. sobre biotita y 74 + -12 m. a. Sobre hornblenda; es decir que su edad se ubica en el Cretáceo superior.

**Dioritas (comunes).**- Muestran adiciones de cuarzo en los contactos con las tonalitas de la Superunidad Santa Rosa, así como calcita allí donde intruye a las secuencias calcáreas, produciendo la alteración de las hornblendas o del material carbonatado.

Sus contactos con los cuerpos ácidos que los intruye son verticales y bien nítidos, formando cerros masiformes así como grandes cuerpos de formas prismáticas y tabulares.

En la quebrada de Chilca se encuentra el mayor de estos cuerpos. Allí la roca presenta un color gris verdoso mesócrata, de grano fanerítico; donde además de plagioclasas y hornblendas presenta cuarzo intersticial y clinopiroxenos alterados a actinolita tremolita.

**Diorita xenolítica.**- Las rocas relevadas bajo esta denominación son dioritas oscuras que muestran enclaves también oscuros, a manera de xenolitos, los que según PITCHER W. (1979) pueden deberse a un proceso de refusión en profundidad, o a procesos normales de diferenciación cristalina.

Los xenolitos presentan un peso específico mayor que la diorita misma. En Cerro Pucará (Qda. Tinajas – cuadrángulo de Lurín) estos xenolitos se muestran como volcánicos devitrificados.

La diorita xenolítica aflora en el cuadrángulo de Lurín donde se presenta masiva de color gris verdoso, mesócrata grano fino a medio, con una textura porfirítica, siendo una característica saltante, los xenolitos, los mismos que presentan color oscuro por su composición más básica y textura microcristalina. Estas dioritas instruidas por la tonalita Jecuán y la granodiorita Tiabaya, presentan hacia los bordes un color más claro, haciéndose oscuro al centro.

La edad asignada por PITCHER W. et. el. (1985) para los gabros jóvenes del Segmento Lima puede variar entre  $75 \pm 3$  y  $92 \pm 2$  M.a., con datación K/Ar.

#### **2.2.2.2.2. SUPERUNIDAD JECUÁN**

A esta Superunidad se le encuentra en el cuadrángulo de Lurín como un cuerpo ácido de tipo granodiorítico-tonalítico y como monzogranitos o adamelitas de edad más temprana que los granitos de las Superunidades Santa Rosa y Tiabaya.

**Granodiorita-Tonalita Jecuán .-** Aflora al Este de Lurín y al sur-oeste de la quebrada Tinajas, teniendo como caja los volcánicos Quilmaná (Casma) y las dioritas occidentales de emplazamiento más temprano, se extiende hasta la quebrada Malanche con una longitud de aproximadamente 15 km y un ancho promedio de 4 km.

La tonalita de esta unidad, localmente pasa a ser granodiorita por adición de ortosas que cortan a las plagioclasas.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Las tonalitas ganan ortosas en parte por adición de diques potásicos provenientes de la Superunidad Tiabaya de emplazamiento posterior, pasando a granodiorita como se observa en el cerro Molla (quebrada de Chilca) al sureste del cuadrángulo de Lurín. Intruye a la diorita xenolítica por lo que su edad puede ubicarse en el Cretáceo superior.

**Adamelita Atocongo.**- Aflora entre Atocongo (Sureste de Lima), río Lurín y quebrada Manchay, intruyendo a la gabrodiorita Patap, por lo que su desplazamiento es más temprano.

Mineralógicamente se trata de un monzogranito con textura granitoide gruesa, conteniendo abundante muscovita. Las ortosas bien desarrolladas y el cuarzo constituyen los minerales esenciales.

La acción erosiva eólica ha dado lugar a cavernas similares a las que se forman en las calizas, por lo que a distancia da la apariencia de una secuencia calcárea.

En este cuerpo STEWART et al. (1974) han hecho dataciones por K/Ar y Rb/Sr habiéndose obtenida una edad de  $104 \pm 2$  m.a. (COBBING et al. 1981). SANCHEZ A. (1982) sugiere edades de  $81 \pm 15$  m.a. basadas en datos Rb/Sr (PITCHER et al 1985). Sin embargo evidencias de campo muestran que esta adamelita intruye a la gabrodiorita de Cerro Colorado y por tanto existiría una discrepancia entre dataciones y relaciones de campo, las cuales no están bien definidas.

#### **2.2.2.2.3. SUPERUNIDAD TIABAYA**

Esta Superunidad se caracteriza porque sus cuerpos son más ácidos que los de la Superunidad Santa Rosa, variando de granodioritas a tonalitas. Se emplaza a lo largo del Segmento Arequipa, entre la quebrada Tinajas

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

(Lurín) y Tiabaya (Arequipa) de donde toma el nombre. Intruye a los cuerpos más básicos de Patap y tiene como caja a los volcánicos del Grupo Casma siendo sus contactos continuos y verticales.

Se emplaza siguiendo el alineamiento de la Superunidad Santa Rosa, habiendo sido disectado por las quebradas Malanche, Cruz de Hueso y Chilca, donde se ha podido diferenciar cuerpos tonalíticos (Tiabaya claro) que son los mayores, y cuerpos tonalíticos dioríticos (Tiabaya oscuro) que son los menores.

Las edades radiométricas determinadas en la región de Ica (300 km al sur de Lima) son de 81 a 83 M.a. (K/Ar y Rb/Sr); PITCHER et al. (1985); MUKASA y TILTON obtienen datos concordantes por U/Pb en el valle de Pisco obteniendo alrededor de 78 M.a. Su período de emplazamiento podría considerarse simultáneo con la Superunidad Santa Rosa.

**Tonalita-granodioritas (Tiabaya claro).**- Presentan una composición más potásica que la Sub-unidad Tiabaya oscuro, por su contenido de ortosa, pasando de tonalitas a granodioritas y localmente a adamelitas.

En el Segmento Arequipa, al Sur de la quebrada Tinajas, esta subunidad constituye el plutón central y principal del batolito, con una coloración rojiza, destacando en algunos sectores ubicados al Sur de la presente área, por la presencia de ciertas mineralizaciones en sus contactos con las unidades volcano-sedimentarias.

El estudio en sección delgada de estas rocas muestra plagioclasas variando entre 50% y 65% (andesina oligoclasas), luego cuarzo en un 20% y ortosa variando de 20% a 30%. Este último mineral se presenta también como diques, con una coloración rosada característica y

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

contaminando fuertemente a la tonalita, la que pasa a ser granodiorita por la adición de ortosa.

**Tonalita-dioritas (Tiabaya oscuro).**- Constituyen cuerpos melanócratos son los más orientales y se hallan cubiertos por el vulcanismo andino terciario. Sus rocas destacan por su color oscuro, de textura holocristalina y grano fino.

Las tonalitas con buen porcentaje de biotitas y hornblenda toman precisamente ese color oscuro por la disminución del cuarzo pasando a dioritas.

Por las edades que se han reportado, significa que la superunidad Tiabaya ha sido emplazada en el Cretáceo superior.

### 2.3. GEOMORFOLOGIA

Los rasgos geomorfológicos presentes en el área de Lima-Lurín son el resultado del proceso tectónico y plutónico, sobreimpuesto por los procesos de geodinámica, que han modelado el rasgo morfoestructural de la región.

Entre las formas estructurales que han controlado el modelado de la región, cabe mencionar el anticlinal de Lima y los bloques fallados como productos del dislocamiento regional. Así mismo, la erosión, la incisión por el drenaje (principalmente los ríos Chancay, Chillón Rímac y Lurín) y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la zona, han dado la configuración actual del relieve; el mismo que va desde el nivel medio del mar en el borde litoral hasta 3,600 m. de altura sobresaliendo rasgos geomorfológicos, clasificados como unidades, las cuales se muestran en el plano respectivo y que se describen a continuación:

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- a) Islas
- b) Borde litoral
- c) Planicies costaneras y conos deyeativos
- d) Lomas y cerros testigos
- e) Valles y quebradas
- f) Etribaciones andinas occidentales

### **2.3.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS REGIONALES**

#### **2.3.1.1. ISLAS**

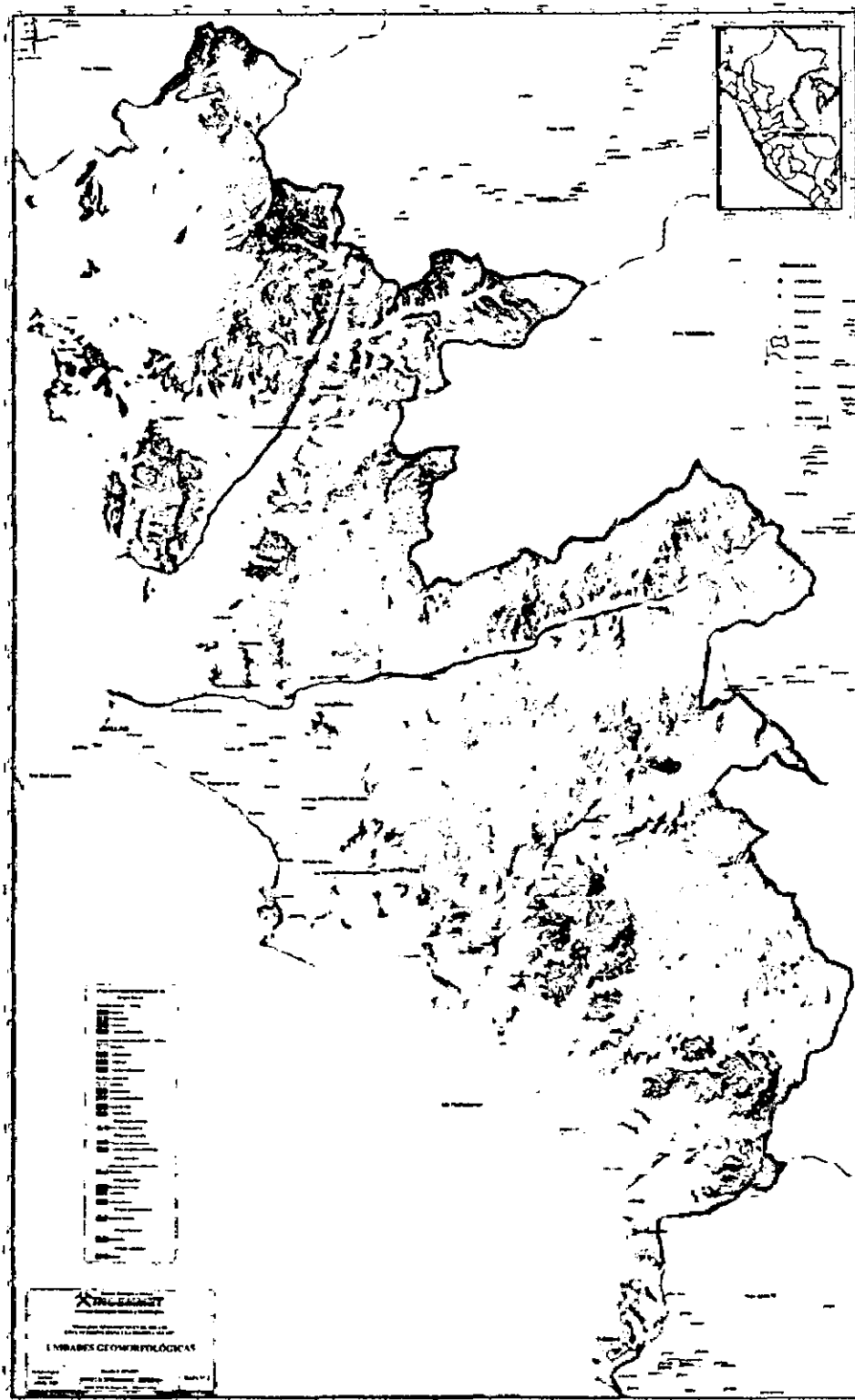
Comprende a las islas San Lorenzo y El Frontón frente al Callao y a las islas Pachacamac y Peñón de Pachacamac frente a Lurín. Se trata de una porción de territorio separado del continente y que presenta una topografía de cerros agudos bordeados de playas angostas, puntas y acantilados. La línea de cumbres en San Lorenzo presenta una inclinación al sur siendo los puntos más elevados el cerro La Mina con 393 m.s.n.m.

#### **2.3.1.2. BORDE LITORAL**

Comprende el área de tierra firme adyacente a la línea litoral, expuesto a la acción de las olas marinas. Se extiende de Noreste a Sureste en forma de una faja delgada cuya anchura va desde la línea de costa hasta una distancia que puede variar de 1 a 2 km. tierra adentro.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Plano N°6.** Rasgos geomorfológicos del Proyecto Pucará y áreas circundantes, tomado de INGEMMET.



#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Está configurado por: Bahías, ensenadas, puntas, etc. habiéndose formado playas abiertas por acumulación de arenas a través de corrientes litorales o por deriva litoral (Playas de Conchán, Villa, Ventanilla). Desde estas playas la arena es llevada al continente por acción eólica formando una unidad continua con la planicie costanera.

Las principales bahías en el área de Lima: son Ancón (Cuadrángulo de Chancay), El Callao y Chorrillos (Cuadrángulo de Lima), San Bartolo y Pucusana (Cuadrángulo de Lurín).

#### **2.3.1.3. PLANICIES COSTANERAS Y CONOS DEYECTIVOS**

Es la zona comprendida entre el borde litoral y las estribaciones de la Cordillera Occidental constituida por una faja angosta de territorio paralela a la línea de costa, adquiriendo mayor amplitud en los valles Chancay, Chillón, Rímac (en especial) y Lurín. Constituyen amplias superficies cubiertas por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación de los ríos Rímac y Lurín y por arena proveniente del acarreo eólico desde las playas, por vientos que corren con dirección SO a NE.

Una de estas planicies constituye el cono aluvial del río Rímac donde se asienta la ciudad de Lima. Lo que fue una depresión, ahora rellenada por gravas, arenas y arcillas formando un potente apilamiento, cuyo grosor completo se desconoce. Esta llanura aluvial se continua al Sur con el cono aluvial del río Lurín interdigitándose sus depósitos por debajo de la cobertura eólica (al Sur de Villa y San Juan).

La llanura aluvial de Lurín se continua al Sur con una planicie costanera más angosta, frente a Punta Hermosa, San Bartolo y Chilca rellenada por

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

los materiales acumulados por las quebradas que discurren directamente al mar, teniendo una cobertura de arena eólica.

#### **2.3.1.4. LOMAS Y CERROS TESTIGOS**

Dentro de esta unidad geomorfológica se han considerado a las colinas que bordean las estribaciones de la cordillera occidental las cuales quedan como cerros testigos, encontrándose en medio del cono aluvial de Lima.

Las lomas presentan una topografía subordinada a la litología de las unidades geológicas y a la cobertura eólica que las cubren como es el caso de las lomas y colinas que bordean la faja costanera en Pucusana, San Bartolo, Lurín, San Juan, Pamplona y Monterrico al Sur.

Donde las rocas que constituyen estas lomas y cerros testigos son caliza y cuarcita o rocas intrusivas, el relieve es abrupto; y cuando se trata de lutita o limonita las formas son redondeadas con pendientes más suaves.

Cuando están cubiertos de arena la pendiente es menos abrupta, caracterizando la coloración el gris blanquecino; dentro de los colores gris oscuro a verde que presentan las lomas debido a coberturas de líquenes, los cuales dan lugar a un suelo húmico.

#### **2.3.1.5. VALLES Y QUEBRADAS**

Esta unidad geomorfológica comprende a los valles del Rímac, Lurín, Chillón y Chancay; así como a las quebradas afluentes y a las que discurren directamente al mar, tales como: Malanche, Cruz de Hueso y Chilca al sur de Lurín; las que permanecen secas la mayor parte del año, discurriendo agua sólo en épocas de fuertes precipitaciones en el sector andino. Debido a ello presentan un clima seco con un piso cubierto por depósitos coluviales y materiales de poco transporte, provenientes de las

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

estribaciones de la Cordillera Occidental, siendo a su vez éstos cubiertos por arena eólica.

#### **2.3.1.6. ESTRIBACIONES DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL**

Esta unidad geomorfológica corresponde a las laderas y crestas marginales de la Cordillera Andina de topografía abrupta formada por plutones y stocks del Batolito Costanero, emplazado con rumbo NO-SE, el mismo que ha sido disectado por los ríos y quebradas que se abren camino hacia la costa, formando valles profundos con flancos de fuerte inclinación, en donde las crestas más elevadas se estiman entre los 900 y 3,600 m. reflejando la fuerte erosión de los ríos durante el Pleistoceno-reciente.

Las estribaciones de la cordillera occidental terminan hacia el Oeste en la zona de lomas con pendientes menos abruptas y menores de 30°.

### **2.4. TECTONICA**

#### **2.4.1. CUADRO MORFOTECTÓNICO**

El área que comprende los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chosica y Chancay se enmarca dentro del cuadro morfotectónico de la costa y el borde occidental andino; la misma que dio lugar a una deformación con plegamientos acompañada de ruptura. Esta tectónica se dio en fases sucesivas que devienen desde el Cretáceo y que se continúan en el Terciario inferior y superior, y hasta probablemente en el Cuaternario.

El estudio geológico-tectónico del área de Lima realizado en 1981 ha permitido con la ayuda en estaciones microtectónicas, interpretar para el sector oeste de estos cuadrángulos (faja costanera) hasta tres fases tectónicas y probables movimientos verticales.

## **2.4.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA EN EL SECTOR DE LA COSTA**

La evolución tectónica del área de Lima tiene episodios que datan desde el Cretáceo hasta probablemente el Cuaternario, habiéndose consignado las siguientes fases:

### **2.4.2.1. FASE INTRACRETÁCEA**

Constituye la primera manifestación tectónica desarrollada con posterioridad a la deposición de la pila sedimentaria marina, habiendo tenido durante el Cretáceo inferior movimientos precursores oscilatorios en la cuenca, antes de llegar al levantamiento general de la región.

Se caracteriza por ser una fase tectónica de compresión, con sus ejes de acortamiento (presión) en dirección NE-SO.

Las estructuras desarrolladas durante esta fase son pliegues plurikilométricos de amplio radio, asimétricos, isopacos y de dirección andina, esto es NNO-SSE correspondiendo a un nivel estructural intermedio. Asimismo se ha desarrollado un sistema de fracturas transversales de rumbos conjugados, es decir NNE-SSO y ONO-ESE, respectivamente.

El anticlinal de Lima, que constituye la estructura más importante de la zona se ha ido desarrollando durante esta tectónica. Asimismo contemporáneo a este plegamiento se observa un fallamiento longitudinal, ligeramente oblicuo a la dirección de los pliegues, haciéndose más notable en la falla Pueblo Viejo, ubicada en el flanco Nororiental del anticlinal.

La fase intercretácea ocurre post Grupo Casma y pre-Batolito, pues los cuerpos dioríticos de la Unidad Patap (aproximadamente de 100 m.a.) cortan en contactos francos las estructuras desarrolladas durante esta fase.

#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

La edad del techo del Grupo Casma no está bien definida, pudiendo comprender desde el Albiano superior hasta el Cenomaniano, de modo que se puede suponer que esta fase pudo haber ocurrido inmediatamente después de su depositación, correspondiendo a la fase peruana de Steinmann, habiendo emigrado poco más tarde hacia el este donde traslapa el emplazamiento del batolito.

#### **2.4.2.2. FASE DEL TERCIARIO INFERIOR**

En el sector occidental del área Lima-Lurin y particularmente en la zona de Lima esta fase de evidencia por un fracturamiento transversal a la estructuración andina y que obedece a un sistema compuesto por dos familias de fracturas cuyo rumbo es: E-O a NE-SO de movimiento sinistral y NNE a SSW de movimiento dextral. Esta fase de deformación ha reactivado las antiguas discontinuidades como también ha dado origen a abundantes fallas conjugadas de todas las escalas.

Se ha formado también un sistema de diques de dirección NE-SO a E-O controlados por fracturas de extensión en echelón y que exhiben las rocas del Batolito de la Costa. A través de las observaciones microtectónicas se infiere que las fuerzas de compresión tuvieron una dirección de acortamiento cuyo rumbo es ENE-OSO.

No existe pliegues asociados a esta fase; sin embargo el rumbo de cizallamiento obedece a la misma dirección de compresión que tuvo la fase incaica en la zona cordillerana, donde sí se manifiesta con plegamiento y fracturación.

#### **2.4.2.3. FASE DEL TERCIARIO SUPERIOR**

Esta fase también de compresión y típica de fractura ha dado lugar a un fallamiento longitudinal de gran extensión, cuyo rumbo varía entre N 10° E

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

a N 100°, y que incluye también microfracturas de tensión, microfallas inversas y microfallas de rumbo conjugado, asociados a las mismas y con una dirección de N 70° E a E-O. Las fallas y fracturas de tendencia andina, subparalelas presentan movimientos dextrales y sinistral.

El análisis microtectónico evidencia una compresión N 10° O a N-S y una extensión de N 80° E a E-O.

Existen un sistema de diques andesíticos de dirección N 150° a N-S asociados a estas fases que afectan a las rocas mesozoicas y al batolito. Durante esta fase se han producido también pequeños reajustes en las estructuras anteriores, aunque ello es difícil de precisar a la escala del presente levantamiento.

Las evidencias de campo indican para esta fase una edad post-batolito, debiendo por lo tanto ubicarse cronológicamente en el Terciario superior, correspondiente a la fase de compresión N-S reconocida por Soulas (1975) en el Perú Central.

#### **2.4.2.4. MOVIMIENTOS CUATERNARIOS**

Aunque no hayan ocurrido en un tiempo reciente, en el Pleistoceno debieron ocurrir todavía levantamientos concomitantes con la epirogenia andina. De allí que podamos tener terrazas fluviales levantadas de hasta 30 o 40 metros.

En la costa no hay evidencias directas ni visuales de movimientos cuaternarios; sin embargo es probable (TEVES N. comunicación oral) un hundimiento subsidente al Noreste de Lima debido al peso de los materiales que acarrea el río Rímac. Observaciones acerca del Cuaternario de la costa del Perú Central, hechas por SEBRIER M. y MACHARE J. 1980, reportan una tendencia al hundimiento basados en la ausencia de niveles

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

marinos anteriores al Holoceno, y en el hecho de que hace unos 120,000 años el nivel eustático del mar alcanzó unos 10 m.

Asimismo se reporta el hallazgo de niveles marinos escalonados hasta una altura de 40 m. en la isla San Lorenzo, lo que estaría indicando un proceso de levantamiento. Según los citados autores existiría una falla entre El Callao y la isla San Lorenzo.

### **2.4.3. ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL SECTOR DE LA COSTA**

#### **2.4.3.1. PLEGAMIENTOS**

**Anticlinal de Lima** .- Constituye un pliegue de gran extensión longitudinal, cuyo eje pasa por la ciudad de Lima, extendiéndose desde el cerro Morro Solar en Chorrillos, las playas de Conchán y La Campiña, donde tiene su cierre periclinal Sur; hasta cerca de Ancón (cuadrángulo de Chancay) donde tiene su otra terminación periclinal Norte.

La dirección promedio en el cuadrángulo de Lima es N 15° O, pero más al Norte (cuadrángulo de Chancay), toma una dirección N-S, inflexionándose a la altura de Puente Piedra, para después tomar un rumbo N 45° O hasta Ancón.

#### **2.4.3.2. FALLAMIENTOS**

En el sector occidental de estos cuadrángulos es evidente un Sistema de Fallas Longitudinales, vinculadas a una fase de compresión intracretácea, así como un sistema de fracturas y fallas transversales que obedecen a procesos tectónicos de compresión post- Batolito; es decir del Terciario inferior y superior.

**Sistema de fallas longitudinales.**- La mayoría abarcan longitudes kilométricas y han producido dislocaciones en los flancos de los

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

Anticlinales de Lima, Lomas del Manzano y otros, habiéndose reconocido fallas inversas y fallas normales de menor orden localizadas preferentemente en las zonas axiales. Estos fallamientos originados probablemente al final de la fase infracretácea han sufrido reactivaciones con los procesos tectónicos cenozoicos. Las observaciones microtectónicas y las relaciones geológicas muestran en el fallamiento longitudinal una dirección NO-SE, paralela a la cadena andina. Asimismo, muestran movimientos horizontales compatibles con los ejes de acortamiento de las fases terciarias. A continuación se describen las principales fallas consideradas como mayores.

**Falla José Gálvez.-** Se le infiere como falla inversa por la posición estratigráfica anómala que se observa en la Formación Atocongo con respecto a la Formación Pamplona, entre el Cerro Conchitas y el AA.HH. José Gálvez.

Las calizas de la Formación Atocongo que afloran en Cerro Conchitas se pierden aparentemente debajo de las margas y calizas de la Formación Pamplona, las mismas que forman el flanco oriental sinclinal de Pachacamac, teniendo una cobertura eólica que impide observar detalles de este accidente.

Un poco más al Noreste, entre Villa El Salvador y San Juan de Miraflores, estas formaciones muestran buzamientos opuestos. Así mismo el flanco oriental del sinclinal de Pachacamac comparado con el flanco occidental muestra un menor espesor.

La geometría del anticlinal de Atocongo que sigue el sinclinal de Pachacamac, muestra el flanco occidental con buzamientos más



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

inclinados y un plano axial levemente inclinado siendo compatible el empuje del Oeste.

**Falla San Fernando.-** Se denomina así a la falla que comprende el flanco occidental del anticlinal de Lomas de Manzano, se extiende desde Cerro de Pasco (Cerca al río Lurín), hasta la Quebrada Pucará, evidenciándose estrías al Norte de la misma que indica un movimiento inverso, con un plano inclinado de aproximadamente 80° al NE. Esta falla pone en contacto a la Formación Herradura del lado Oeste, con el Grupo Puente Piedra (Fm. Puente Inga) del lado Este y que comprende el núcleo del anticlinal.

**Falla Cerro Punta Blanca.-** Esta falla no se hace visible en afloramientos, sin embargo se le infiere, teniendo en cuenta la falta de la Fm. Pamplona debajo de las Calizas de Atocongo en el Cerro Punta Blanca, allí dichas calizas sobreyacen en contacto aparentemente normal a una secuencia de limolitas negras que se asumen a la Fm. Herradura en base al fósil Favrella Lorensis del Valanginiano medio a superior encontrado en dicha secuencia.

Asimismo, un poco más al Sur, se observa entre las Formaciones Atocongo y Marcavilca un contacto sub-vertical con buzamientos opuestos, estando las rocas afectadas por una esquistosidad de rumbo N 200° con inclinaciones de 65° a 70° al NE.

Lo expuesto infiere una falla inversa de alto ángulo, ligeramente buzante al Oeste, en vez de una falla de bajo ángulo como se propuso en el estudio antes mencionado.

#### TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**Falla El Manzano.-** Se ha dado este nombre a la falla ubicada en las faldas de las Lomas El Manzano y que comprende el núcleo del anticlinal en el flanco oriental. Se trata de una falla inversa de alto ángulo con un recorrido más corto que la Falla San Fernando. Pone en contacto con el Grupo Puente Piedra (Fm. Puente Inga) del núcleo con la Fm. Herradura.

#### **2.4.3.3. FRACTURAMIENTOS**

Existen en todo el sector de la costa un marcado diaclasamiento transversal a la dirección andina, siendo notable en Lima un sistema de rumbo N 70° E, variando a N 80° E y a veces E-O. En el cerro Morro Solar esta familia de fracturamientos se hace evidente y notorio en la carretera que conduce del Club Regatas de Chorrillos a la Herradura, donde el talud del cerro pierde sustentación por este diaclasamiento.

#### **2.4.3.4. FALLAMIENTO Y FRACTURAMIENTO EN EL BATOLITO DE LA COSTA**

En el mapa geológico de Lurín y Chosica se puede observar hasta tres familias de fracturamientos y/o fallamientos.

Así tenemos:

- 1) Una familia de dirección azimutal N 10° a N 30°
- 2) Una familia de dirección azimutal N 70° a N 180° a N 100°
- 3) Una familia de dirección azimutal N 165° a N 180°

Algunas de estas fallas han sido observadas en el terreno con zonas milonitizadas de 2 a 3 m. De las observaciones microtectónicas realizadas en el Estudio Geológico del Área de Lima (1980) se deduce que las familias 1 y 2 han tenido un movimiento de desgarre, de juego dextral la primera y sinistral la segunda y que su fuerza de compresión o dirección de acortamiento ha sido NE-SO, contemporáneo con la fase del Terciario

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Inferior. La tercera familia puede ser de movimiento dextral o sinistral, con un eje de acortamiento N-S a N 10° O correspondiendo a una fase compresiva del Terciario superior.

## 2.5. GEOLOGÍA LOCAL DEL YACIMIENTO PUCARÁ

### 2.5.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS Y CUERPOS INTRUSIVOS:

La Geología del Proyecto Pucará se encuentra circunscrita dentro de la columna estratigráfica generalizada de la zona sur de Lima, representada en la tabla elaborada por INGEMMET (1992). Del más antiguo al más reciente, la columna de la zona sur de Lima se inicia con una secuencia volcánica - sedimentaria que representa al Grupo Puente Piedra, seguida de una secuencia clástica representada por el Grupo Morro Solar, secuencia arcillo-calcareá representada por las Formaciones Lurín, Pamplona y Atocongo, y finalmente con una secuencia de rocas volcánicas- clásticas (Gpo. Casma). La secuencia termina con los depósitos cuaternarios de origen eólico y aluvial.

EDADES		UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS		ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos eólicos y aluviales		
MESOZOICO	CRETÁCEO	Grupo Casma	Vol. Quilmaná	Tonalita  Granodiorita  Andesita
			Fm. Chilca	
		Formación Atocongo (Ki-at)		
		Formación Pamplona (Ki-pa)		
		Formación Lurín (Ki-lu)		
		Grupo Morro Solar	Formación Marcavilca	
			Formación Herradura	
	Formación Salto del Frayle			
JURASICO	Grupo Puente Piedra			

Columna Estratigráfica del Área de Lima. Fuente: INGEMMET (1992)

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Las unidades litoestratigráficas reconocidas en el área del Proyecto Pucará, de la más antigua a la más reciente, son: Formación Pamplona, constituida por una intercalación de calizas margosas, limolitas y lutitas laminares y la Formación Atocongo, constituida por una secuencia de calizas masiva predominantemente carbonatada. La edad de estas unidades va desde el Cretáceo inferior al Cretáceo medio. Ocupando el fondo de las quebradas y el valle Pucará yacen depósitos coluviales y aluviales compuestos predominantemente por fragmentos gruesos.

#### **2.5.1.1. FORMACIÓN PAMPLONA (KI-PA)**

Esta unidad aflora al oeste del tajo principal, donde subyace a la Formación Atocongo y su piso está fuera del área de estudio. Los estratos tienen un rumbo promedio N15°W y buzamiento promedio 65° NE. Litológicamente, se trata de una secuencia alternada de calizas micríticas, calizas margosas, margas, limolitas y lutitas algo pizarrosas de coloraciones abigarradas (gris, rojizo, ocre pasando a amarillo y en partes verde azulado). Hacia el tope de la formación se incrementa la presencia de estratos de calizas de 0.10 a 0.25 m de espesor.

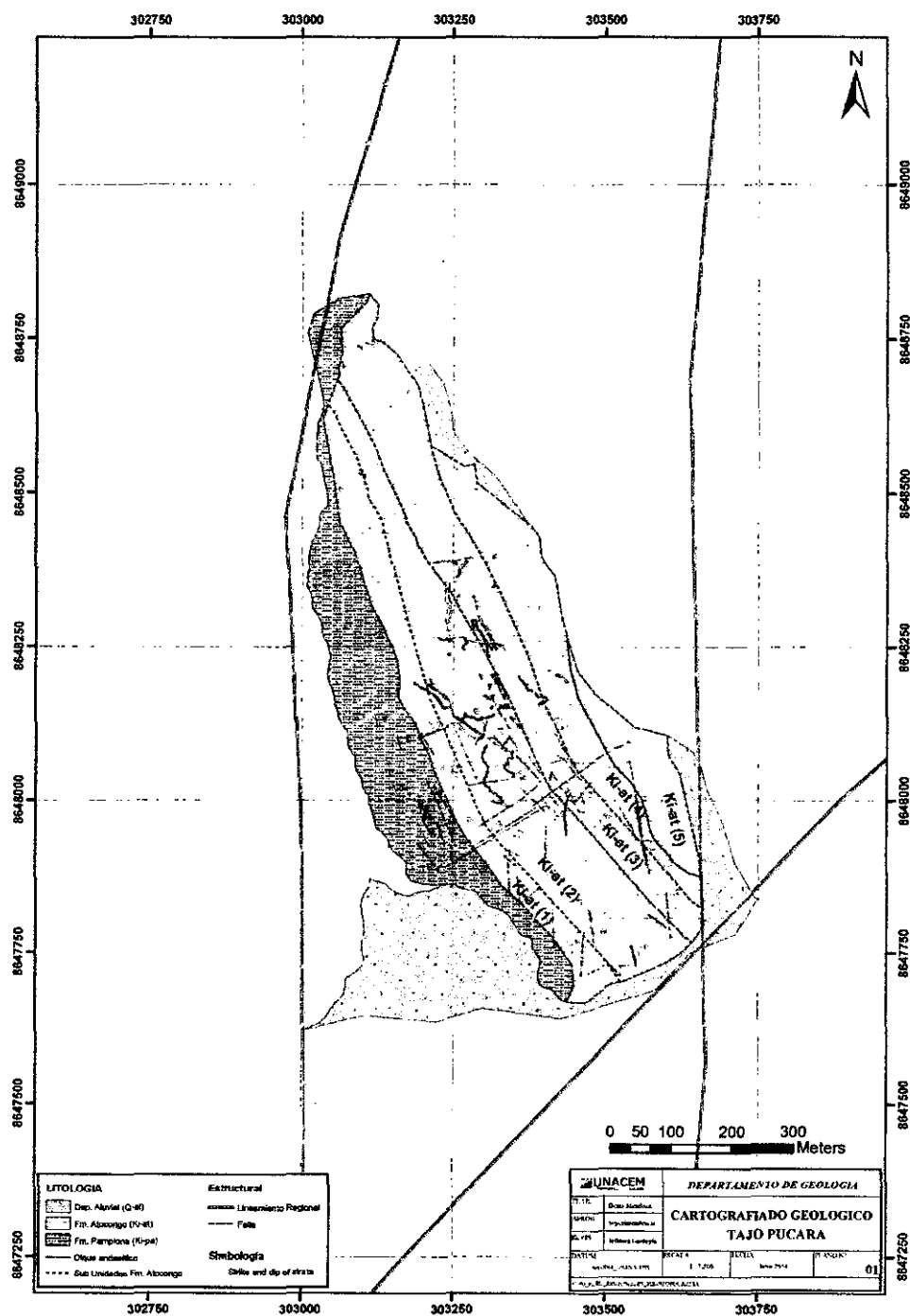
#### **2.5.1.2. FORMACIÓN ATOCONGO (KI-PA)**

Esta formación es una unidad netamente calcárea, cuyo nombre se debe a la localidad de Atocongo, donde se presenta su mejor desarrollo y conforma un yacimiento anexo de Cementos Lima (Unacem S.A). En el yacimiento Pucará, la Formación Atocongo aflora en el flanco oeste del valle Pucará, con una orientación norte – sur. Esta formación en el norte se extiende fuera de los límites de la cantera, mientras que en el sur y este está cubierta por depósitos aluviales y materiales de desmonte.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

El contacto con la Formación Pamplona, que le infrayace, se ubica al oeste del Proyecto.



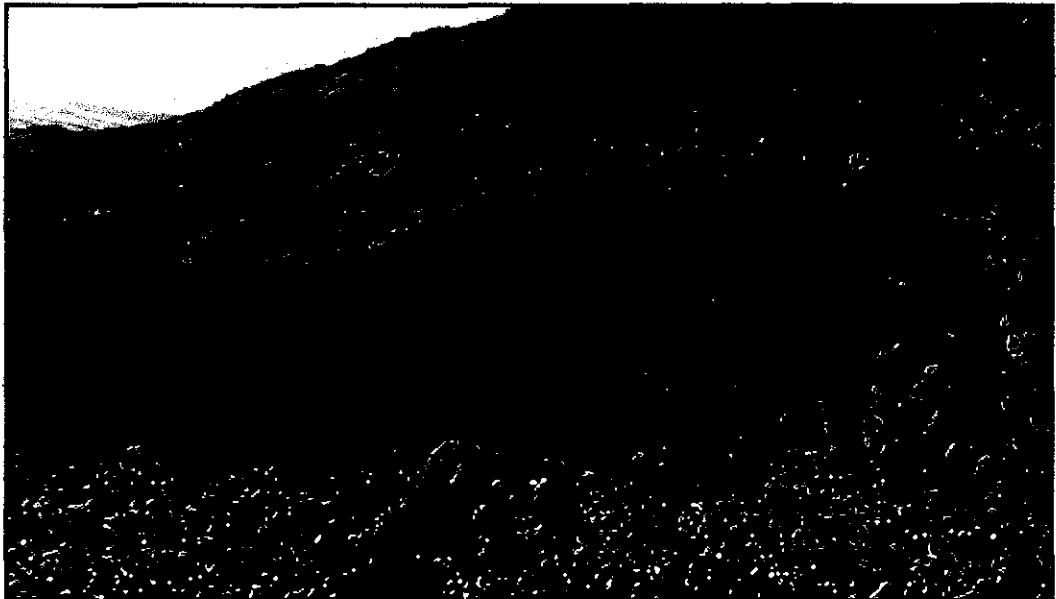
**Plano N° 08.** Cartografiado geológico en el tajo del yacimiento Pucará (Denís Mendoza, 2014)

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

En el yacimiento Pucará se han identificado hasta cinco (5) sub-unidades de calizas, cuyas características desde el piso hacia el techo son descritas a continuación:

- **Sub-unidad 1 (Ki-at 1).**- Es una intercalación de caliza micrítica, caliza margosa, caliza bioclástica, lutita y marga de color pardo amarillento en estratos de 0.05 a 0.20 m de espesor. Esta sub-unidad tiene un espesor aproximado de 20 m.



**Foto 01.** Secuencia de calizas micríticas en intercalación con caliza margosa y ocasional lutita en la base, pertenecientes a la Sub Unidad 1 (Ki-at 1). Tajo Pucará-Nivel 420. Vista al Este.

- **Sub-unidad 2 (Ki-at 2).**- En esta sub unidad predomina la caliza de color gris oscura, evidenciada en estratos de 0.15 a 0.60 m. de espesor y con una potencia total aproximada de 45 m.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

Las calizas están cortadas por una serie de diques y sills de naturaleza andesítica, con direcciones variables.



**Foto 02.** Caliza gris oscura intruída por Dique andesítico hipabisal (verde). Sub Unidad 2 (Ki-at 2) - Tajo Pucará-Nivel 390.

- **Sub-unidad 3 (Ki-at 3).**- Se trata de una secuencia alternada de caliza micrítica con caliza margosa de color gris que yacen en estratos de 0.15 a 0.20 m. de espesor. La potencia estimada de esta sub-unidad es de 50 m.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- **Sub-unidad 4 (Ki-at 4).**- Consiste en una intercalación de estratos delgados (0.10 a 0.15 m de espesor) de caliza micrítica, caliza margosa, marga y lutita, de predominantes tonalidades pardo- amarillentas. Para esta secuencia se estima una potencia aproximada de 30 m.



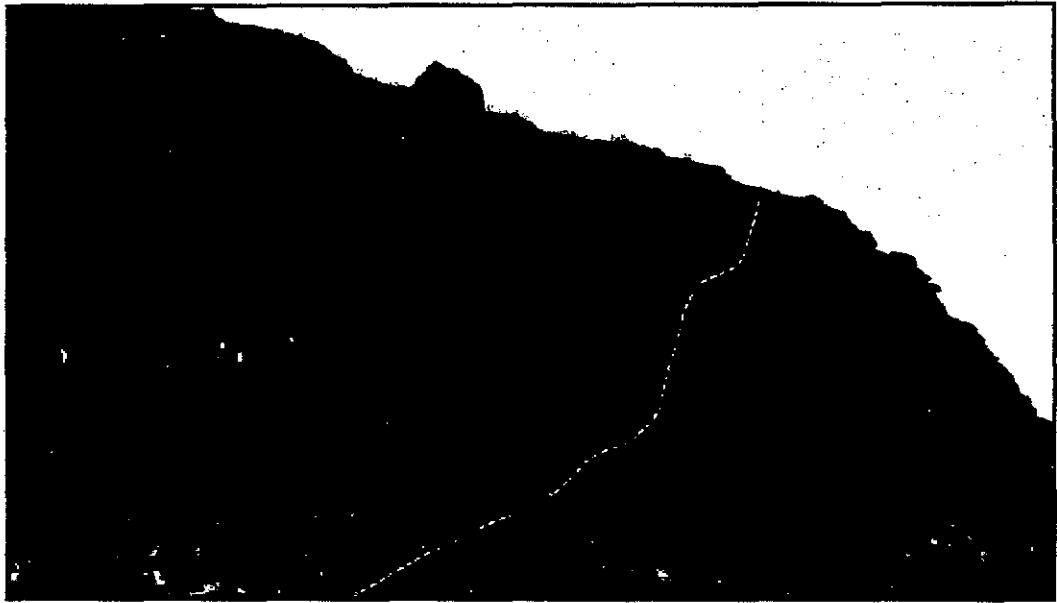
**Foto 03.** Caliza micrítica de coloración gris con ocasionales estratos de marga y centimétricos niveles de lutita en la base. Sub unidad 4 (Ki-at 4). Nivel 510.

- **Sub-unidad 5 (Ki-at 5).**- Es una secuencia de calizas micríticas, calizas margosas y margas de color gris pardo a gris amarillento, cuya potencia se ha estimado en aproximadamente 60 m.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Foto 04.** Secuencias de caliza micrítica levemente gris, caliza margosa y marga de color gris pardo a gris amarillento. Sub-Unidad 5 (Ki-at 5).

#### **2.5.1.3. DIQUES Y SILLS**

No se observan grandes cuerpos de rocas intrusivas. Sólo existen numerosos diques y sills andesíticos, con diferentes espesores, longitud y orientaciones.

En las sub-unidades 2 y 3 de la Formación Atocongo resalta una serie de diques que cortan a los estratos y otros que yacen concordantes a la estratificación. Estos cuerpos son de naturaleza andesítica, de coloración gris verdosa, textura porfírica variando a afanítica, cuyo espesor promedio es de entre 0.10 a 0.25 m. En general, tienen una configuración sinuosa y su dirección predominante es N25°-35°W con algunas de N10°-20°E.

Entre los niveles Nv 280 y Nv 420 se concentra mayor parte de los diques y sills.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Foto 05.** Dique andesítico hipabisal de entre 20-40cm con moderada a fuerte alteración argílica, débil a moderada presencia de FEOX en fracturas, intruyendo a la caliza de la formación Atocongo. Tajo Pucará-Nivel 500.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Foto 06.** Vista al Este, Tajo del Yacimiento Pucará con delimitación aproximada de los sub tipos identificados de la Formación Atocongo, en contacto suprayacente con la Formación Pamplona (Ki-pa) e infrayacente con depósitos aluviales (Q-al).

#### **2.5.1.4. DEPÓSITOS CUATERNARIOS**

##### **2.5.1.4.1. DEPÓSITOS ALUVIALES**

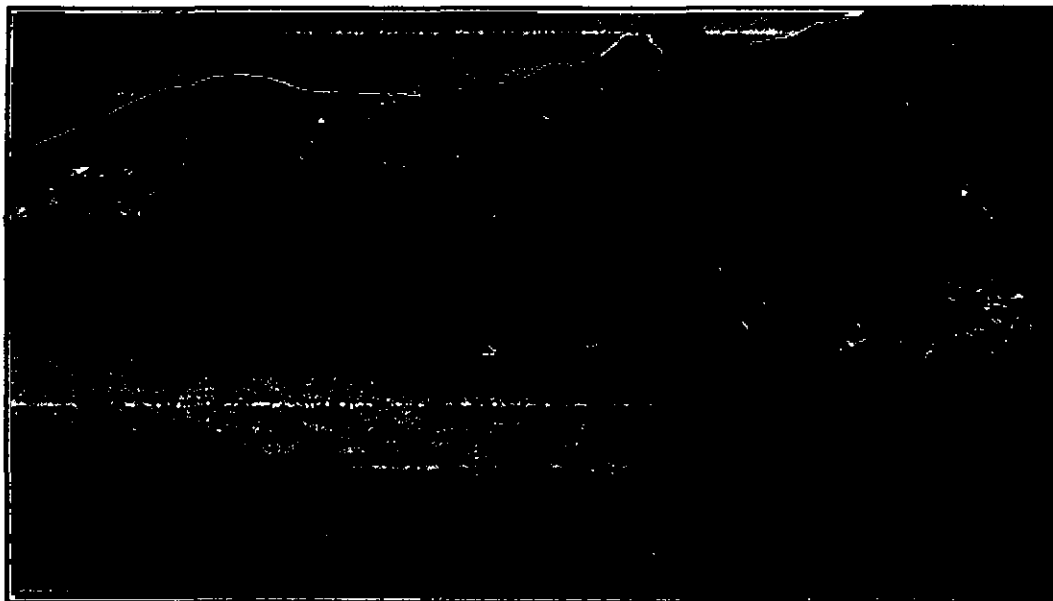
Se presentan en el cauce colgado de la quebrada Río Seco y San Fernando de larga extensión, constituidos por fragmentos sub-anguloso de bloques en matriz areno limosos con gravas en estado muy denso. Se estima que tiene un espesor superior a los 20 m. Este depósito se ubica al sur y sureste de la cantera principal.

##### **2.5.1.4.2. DEPÓSITOS RESIDUALES**

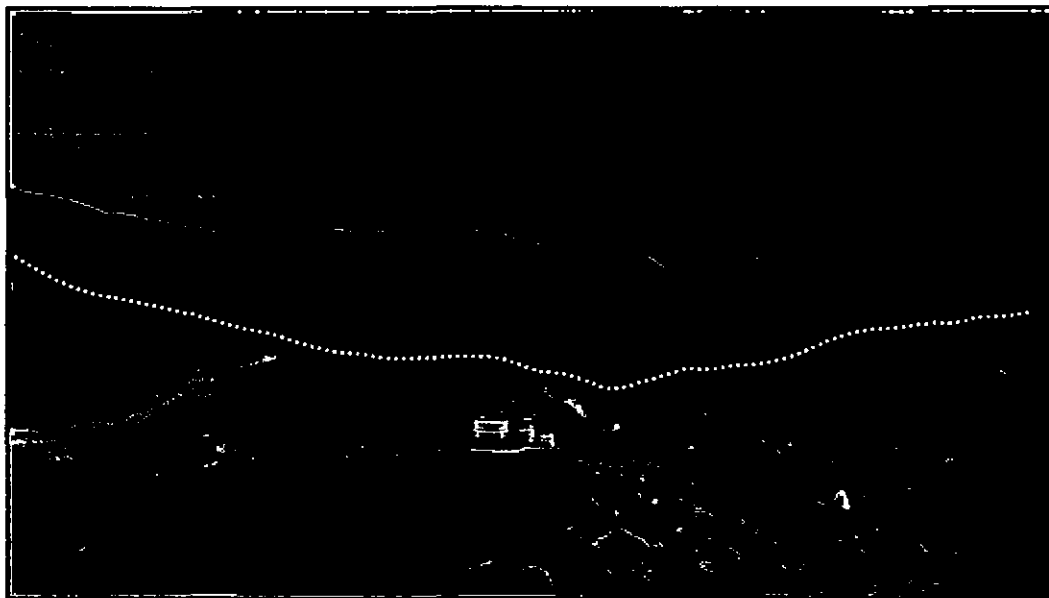
Se presentan mayormente en el botadero 500 y corrimientos laterales en laderas, constituidos por acumulaciones de sedimentos clásticos mal clasificados, con clastos gruesos, mayormente sub-angulosos, con un matriz limo arenosa.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Foto 07.** Material cuaternario aluvial. Tajo Pucará-Nivel 250



**Foto 08.** Depósito cuaternario aluvial suprayaciendo en forma discordante a la caliza de la formación Atocongo (Sub unidad 5, Ki-at 5). Tajo Pucará-Nivel 220.

#### **2.5.1.4.3. DEPÓSITOS TECNÓGENOS**

Se presentan como acumulaciones de fragmentos de roca y bloques angulosos, producto de los materiales estériles que salen de la cantera y que se han acumulado en el lado este de la cantera.

#### **2.5.2. RASGOS ESTRUCTURALES**

No existen fallas regionales visibles, pero sí lineamientos de carácter regional; el primero y principal cruza hacia el Este de la cantera y coincide con la quebrada Pucará (N50°E), el segundo y el tercero son paralelos y cruzan al norte y sur de la cantera, respectivamente.

La cantera está afectada por tres sistemas de fallas locales, cuyas orientaciones son N25°-35°W, N-S y N55°-70°E. Una serie de sistemas de diaclasas que cortan a la roca completan el patrón estructural.

Los estratos tienen un rumbo entre N15° -25°W con buzamientos de 60° a 70° al NE. La posición de los estratos indican que la zona del Proyecto está en el flanco oeste de un sinclinal, cuyo eje tiene una orientación sureste – noreste.

Los rasgos estructurales descritos pueden ser apreciados en el Plano Geológico local del Tajo del Yacimiento Pucará.

#### **2.5.3. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES:**

Dentro del marco fisiográfico se han identificado unidades geomorfológicas, en cuyo modelado externo han participado agentes como el clima y las corrientes fluviales. Las geoformas del área de estudio están marcadas por la actividad tectónica del batolito andino y rasgos estructurales, y por los subsiguientes procesos de meteorización y depositación, debido a la

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

actividad del río seco. Estas geoformas identificadas en la zona de estudio se describen a continuación.

**2.5.3.1. UNIDAD COLINAS ALINEADAS:**

Constituyen colinas alargadas orientadas de suroeste a noreste, presenta elevaciones desde 260 a 480 msnm. Ambos flancos presentan moderada pendiente y se encuentran limitadas por quebradas, donde el extremo noreste de la colina termina en la base de otro cerro de mayor altitud.

**2.5.3.2. UNIDAD LADERAS:**

Esta morfología se distingue en orientación longitudinal a la quebrada Río Seco y tributarios; Presenta flancos pronunciados y fondo amplio en ambas márgenes de la quebrada, su configuración sugiere una fuerte actividad de erosión deposición en periodos anteriores que originó una rápida profundización y subsiguiente colmatación en un ambiente desértico de interfluvios.

### **CAPÍTULO III : OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO**

#### **3.1. ANTECEDENTES:**

El área de estudio es un yacimiento no metálico denominado Pucará, el cual consta de caliza, lutita y rocas intrusivas, siendo la caliza de la formación Atocongo la más importante, ya que desde sus inicios en el año 1997 hasta la actualidad se explota por el método minero de tajo abierto u open pit, y ha sido extraída para el transporte externo hacia la planta principal de UNACEM S.A.A.; así mismo, es utilizada para la fabricación de cemento.

Durante la explotación del yacimiento calcáreo Pucará, el material extraído fue depositado en diferentes botaderos de desmonte, denominados Parcela, Talleres, Nv 430 y Ducto, siendo utilizado el material del stock Parcela para transporte externo, el cual no cumplía con los estándares de calidad debido a que los métodos de muestreo empleados en esa fecha no eran los idóneos, ocurriendo lo mismo en los demás botaderos del yacimiento. En enero del 2014 se hizo un reconocimiento macroscópico de la caliza conformante de los botaderos en mención, reconociéndose en algunos sectores de estos, características físico-químicas propias de una caliza de alta y media ley (fuerte efervescencia al contacto con el ácido HCl, alto contenido de venillas de calcita, ausencia de material arcilloso, aspecto compacto, fractura concoidea de superficie lisa, etc.); esto propició la necesidad de realizar una reevaluación de los botaderos mencionados y buscar un apropiado método de muestreo geológico que nos permita realizar una buena optimización de las reservas.

Debido a que la explotación del tajo se encontraba en su etapa final por una mala evaluación de los recursos existentes, se planteó elaborar y desarrollar un programa de exploración geológica de los botaderos del yacimiento, con el

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

objetivo principal de aumentar las reservas de nuevos recursos de caliza, así como determinar la calidad de la roca en las diferentes botaderos.

Para llevar a cabo este estudio, se emplearon los estándares de calidad definidos por UNACEM S.A.A., considerándose la clasificación actual de cinco tipos de calidad de caliza (alta, media, baja, marginal y estéril), en base a los compuestos u óxidos constituyentes principales como: CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y SO<sub>3</sub>. Los tipos de caliza con los valores porcentuales de los análisis químicos y sus respectivos rangos de leyes establecidos por las tres variables se indican en la tabla N°1.

Variables	Caliza de ALTA CALIDAD		Caliza de CALIDAD MEDIA		Caliza de BAJA CALIDAD		CALIZA MARGINAL		CALIZA ESTÉRIL	
	Prom	Tolerancia	Prom	Tolerancia	Prom	Tolerancia	Prom	Tolerancia	Prom	Tolerancia
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CaO	44.95	> 44	42.5	41 - 44	38.5	36-41	-	36.0 ± 3.0	-	< 30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.9	< 3.5	4.2	< 5	4.2	> 5	-	< 7	-	-
SO <sub>3</sub>	0.78	< 1.0	0.96	< 1.2	0.99	< 1	-	> 1.8	-	-

Tabla 01: Tipos de caliza y Variables de Calificación con sus Leyes de Tolerancia. Fuente: SIG-UNACEM S.A.A.

Los parámetros de calidad representados en la tabla anterior son importantes ya que pueden jugar un papel muy significativo en el proceso de fabricación del Clinker y en sus propiedades finales. El más importante de todos los compuestos químicos de la caliza es el CaO, ya que a partir de su porcentaje de acumulación se subdivide los tipos de caliza para la fabricación del cemento y si no se cumpliera con el porcentaje de calidad establecido podría disminuir la resistencia mecánica del hormigón e incluso provocaría su desintegración, en otras palabras, generaría inestabilidad en el volumen de los cementos; además, ocasionaría problemas ambientales como la emisión de gases por la chimenea



#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

del horno; y problemas operacionales como formación de incrustaciones y acumulaciones en el horno, etc.

En el caso del  $\text{SO}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , es importante mencionar que el azufre procede principalmente de la pirita o marcasita ( $\text{FeS}_2$ ) y de los sulfatos que suelen estar presentes en las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento y en el combustible utilizado (Azufre pirítico, sulfato y orgánico); en cambio la alúmina procede de las micas, feldespatos, etc., minerales principales de las rocas ígneas. Los altos contenidos de azufre dan lugar a elevadas emisiones de  $\text{SO}_2$  con los gases residuales, y conjuntamente con la alúmina, generan taponamiento de crudo en el intercambiador<sup>(\*)</sup> y formación de anillos de costra en el horno rotatorio.

Para determinar la calidad de la caliza de los botaderos se tomó como base los resultados de los análisis químicos de las muestras recolectadas en estos. Los ensayos fueron efectuados en el laboratorio del área de Control de Calidad de UNACEM S.A.A.

### **3.1.1. ANTIGUO METODO DE MUESTREO**

#### **3.1.1.1. MUESTREO POR EL MÉTODO DE CALICATAS:**

Las calicatas o "catas" es una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, y estudios edafológicos de un terreno. Estas excavaciones de profundidad pequeña a media, son realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

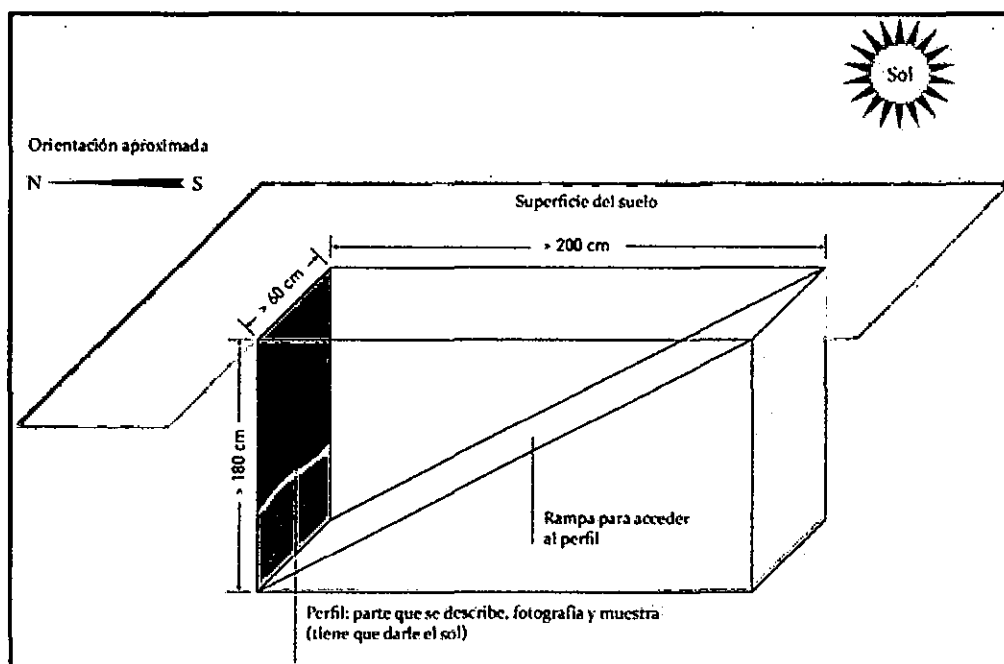
Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la calicata es el único medio de exploración que puede entregar información confiable, y

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

es un medio muy efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

La sección mínima recomendada es de 0,80 m. por 1,00 m., a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado debe depositarse en la superficie en forma ordenada, separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes. Se dejarán plataformas o escalones de 0,30 a 0,40 metros al cambio de estrato, reduciéndose la excavación. Esto permite una superficie para efectuar la determinación de la densidad del terreno. Se deberá dejar al menos una de las paredes lo menos remoldeada y contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo. En cada calicata se debe realizar una descripción visual o registro de estratigrafía identificada.

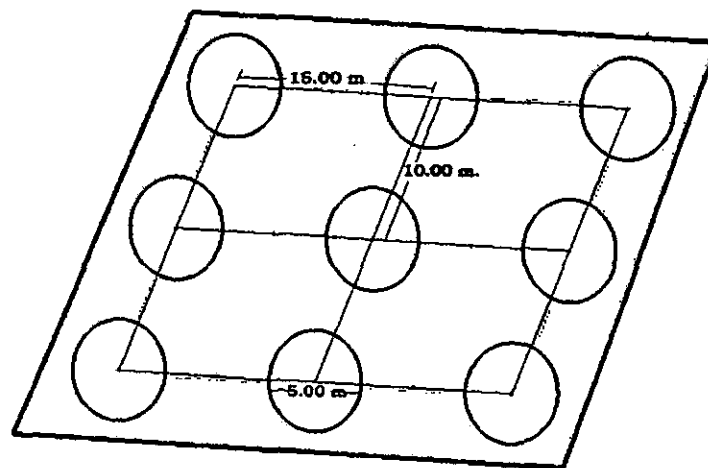


**Figura 2.** Diseño de calicata.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

En los diferentes stocks y botaderos de la U.E.A Pucará, se elaboraban calicatas de exploración, las cuales consistían en excavaciones de forma circular ubicadas en las diferentes superficies de estos, con medidas de 5 metros de diámetro y 5m de profundidad, distribuidas de manera sistemática en una malla de 10 metros por 15 metros (Ver como ejemplo Figura 3). El muestreo consistía en recolectar muestras en las pilas de material previamente acumuladas por la excavadora al costado de cada calicata, sin considerar el muestreo de paredes ni el registro litológico de estas.



**Figura 3.** Dimensiones de la malla y ancho de calicata.

TESIS:

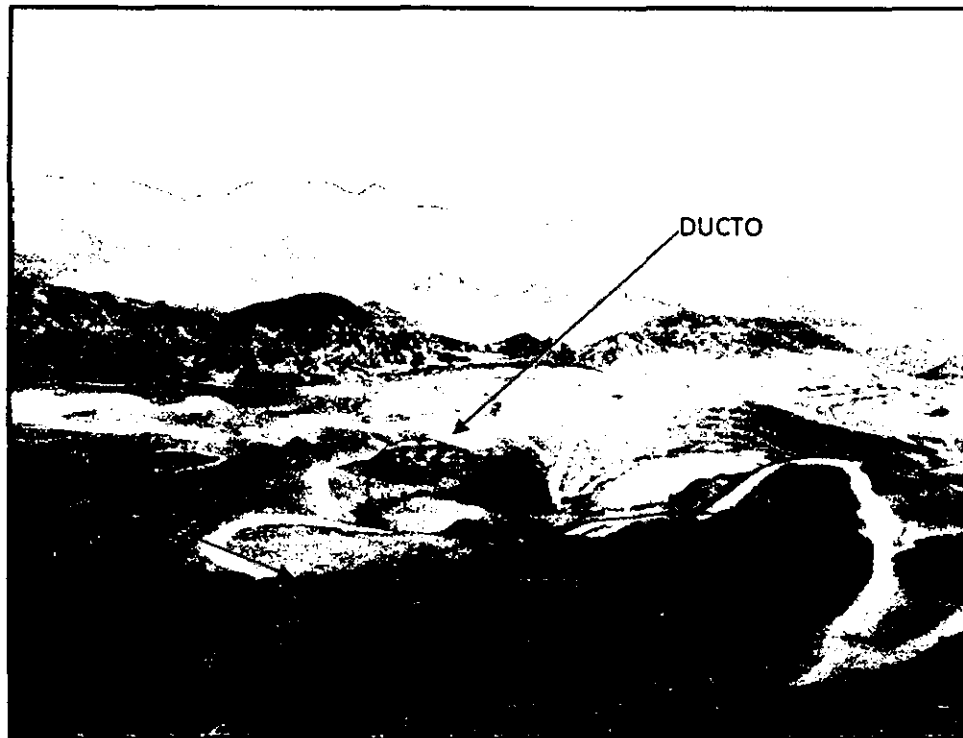
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Foto 09.** Real apariencia de calicatas en el stock Parcela.



**Foto 10.** Identificación de Calicata.



**Foto 11.** Vista panorámica de la distribución de las calicatas del botadero Ducto y Nivel 430.

La ubicación y elevación de cada calicata eran registradas en planos topográficos, estas eran numeradas según la ubicación en los diferentes stocks, respetando la siguiente nomenclatura:

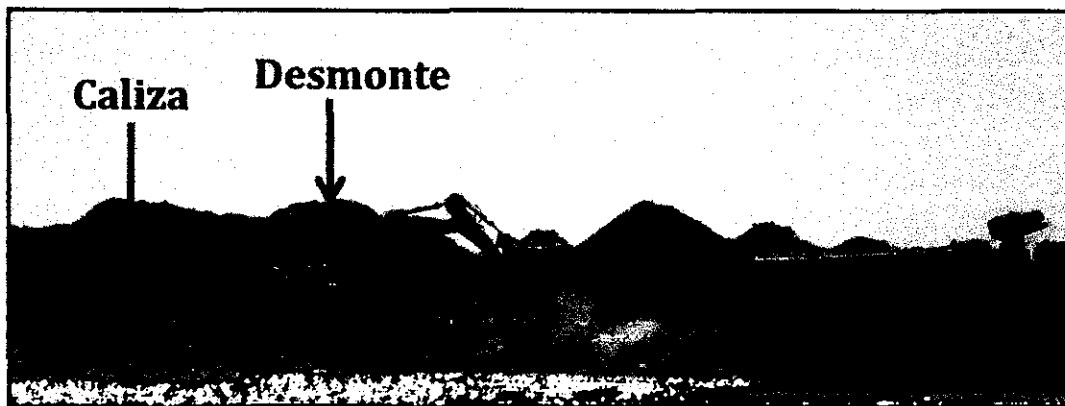
Stock Parcela	
Zona B	B-1, B-2, B-3, B-4...
Zona A	A-1, A-2, A-3...

Este muestreo era erróneo debido a que el material conformante de cada stock es heterogéneo y la información brindada por cada calicata era parcial, ya que consideraba que el radio de influencia de manera horizontal y

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

superficial de cada calicata era de 7.5m (en dirección de la otra calicata) lo que era un indicativo de que las leyes de la caliza que se encontraba entre cada calicata era prácticamente desconocido e irreal, entonces cuando se realizaba el carguío para el acarreo externo, se cargaba material con diferentes leyes y/o con leyes desconocidas.



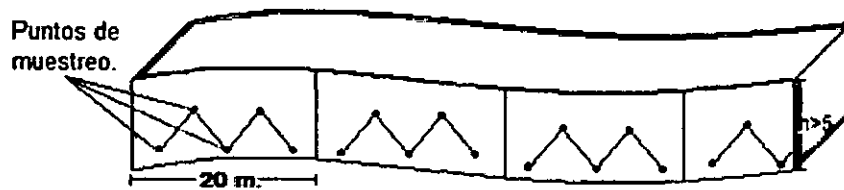
**Foto 12.** Método de carguío de material para transporte externo.

### **3.1.1.2. MUESTREO POR FRENTES SUPERFICIALES**

De acuerdo a la teoría, este muestreo se realiza a partir de una serie de fragmentos de roca, se toman ya en una línea continua a través de una exposición de mineral, o a intervalos al azar sobre una frente. El método es menos laborioso que hacer canaletas, pero los resultados solo en casos excepcionales son comparables (mena uniforme). No se debe usar nunca en un trabajo de exploración, excepto cuando se necesiten con rapidez unos resultados preliminares.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**



**Figura N° 3.** Puntos de muestreo de frentes.

Por tanto, por el modo en que fueron dispuestos los materiales en los diferentes stocks, las muestras tomadas no resultaban representativas, ya que se tomaban 5 muestras de frentes de 20 metros de largo y eso era lo que representaba el material transportado.



**Foto 13.** Muestreo de frentes del stock Parcela.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

## 3.2. ESTUDIO Y OPTIMIZACION DE RECURSOS EN EL TAJO, STOCKS Y BOTADEROS

### 3.2.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE BOTADEROS

De acuerdo a la disposición de los materiales en el stock Parcela, en la etapa inicial en campo, se realizó una evaluación macroscópica de los diferentes tipos de calizas y material estéril existente en las diferentes capas verticales conformantes del botadero en mención, las cuales fueron antiguamente depositadas por maquinaria pesada como volquetes, cargador frontal, excavadora y tractor, lo que permitió realizar un muestreo selectivo para determinar la calidad de los diferentes materiales.

En la etapa de evaluación macroscópica se logró identificar que las leyes del CaO muestreadas en las diferentes rumas de las calicatas correspondientes a la "Zona C" del stock Parcela no coincidían con las características físico-químicas propias de una caliza de alta, media ley y/o baja ley (fuerte efervescencia al contacto con el ácido HCl, alto contenido de venillas de calcita, ausencia de material arcilloso, aspecto compacto, fractura concoidea de superficie lisa, etc.) observadas en campo, siendo motivo importante para considerar un re-muestro que corrobore dicha información, obteniéndose los siguientes resultados:

Fecha	Cod Memorandum	Dsc. Adicional	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	AlcPry
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C1	17.3	6.35	3.39	38.2	2.66	1.14	0.593	0.132	0.66
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C2	14.9	5.68	2.92	41.1	1.98	0.104	0.56	0.161	0.67
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C3	23	9.29	4.4	34	1.87	0.017	0.95	0.213	1.06
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C4	17.5	6.43	3.42	38.4	2.69	1.15	0.598	0.131	0.66
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C5	14.9	5.64	2.93	41.1	1.97	0.111	0.564	0.16	0.68
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C6	22.9	9.33	4.41	34	1.87	0.014	0.952	0.212	1.06
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C7	14.5	5.55	2.42	42	1.85	0.132	0.567	0.147	0.66
2012-5-9 9:00 p.m.	MSM-P-12-086	C8	14.1	5.43	4.59	41	1.77	0.092	0.583	0.148	0.67

**Tabla 02.** Resultados de muestreo 2012.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Fecha	Cod Memorandum	Dsc. Adicional	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	AlcPry
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C1-II	18.64	8.26	4.27	36.01	2.33	0.436	0.627	0.198	0.78
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C2-II	12.04	4.64	1.93	42.91	1.67	0.814	0.606	0.152	0.7
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C3-II	12.14	4.66	1.97	42.61	1.72	1.16	0.624	0.149	0.71
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C4-II	9.62	3.64	1.57	44.81	1.94	1.42	0.412	0.137	0.52
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C5-II	8.41	3.15	1.24	46.11	1.87	1.27	0.398	0.131	0.5
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C6-II	8.21	3	1.3	46.61	1.88	1.29	0.333	0.13	0.45
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C7-II	12.04	4.7	2.22	42.81	2.35	0.372	0.417	0.146	0.54
2014-4-21 6:00 p.m.	DMPR-14-073	C8-II	9.94	3.69	1.6	45.01	2.12	0.672	0.418	0.124	0.51

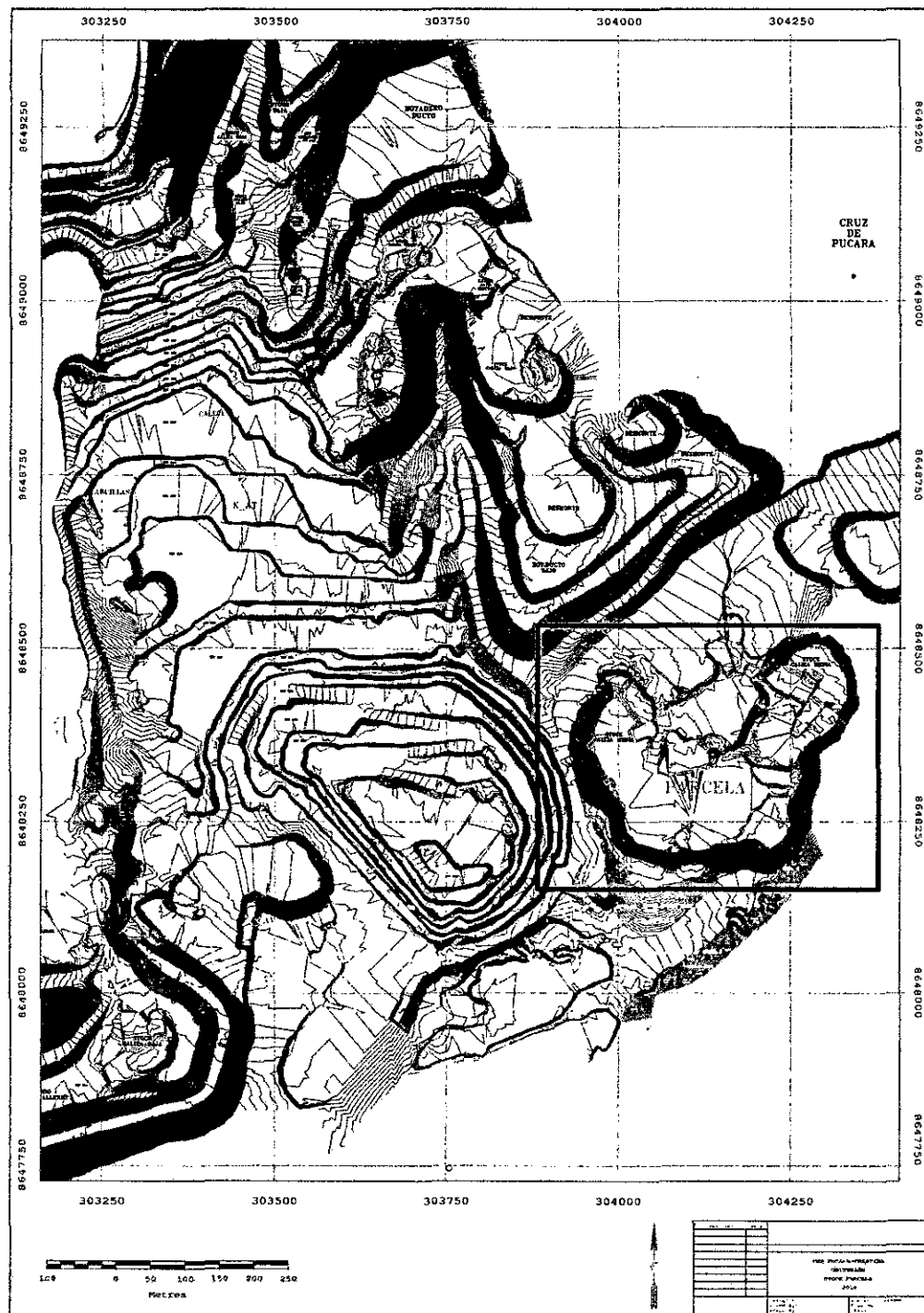
**Tabla 03.** Resultados de re-muestreo del 2014.

Todo esto conllevó a planificar y realizar una evaluación macroscópica de muestras en todos los botaderos del tajo principal Pucará, tales como: Ducto, Talleres, Nivel 430, Chavela, Banco Yahriel, etc., siendo de mayor relevancia los botaderos de Ducto y Talleres. A continuación se describen los botaderos y stock de Pucará:

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

### STOCK PARCELA:

**Ubicación Referencial:** el stock se ubica al sur-este del tajo principal.



**Plano N° 09.** Ubicación del stock Parcela en el tajo Pucará.

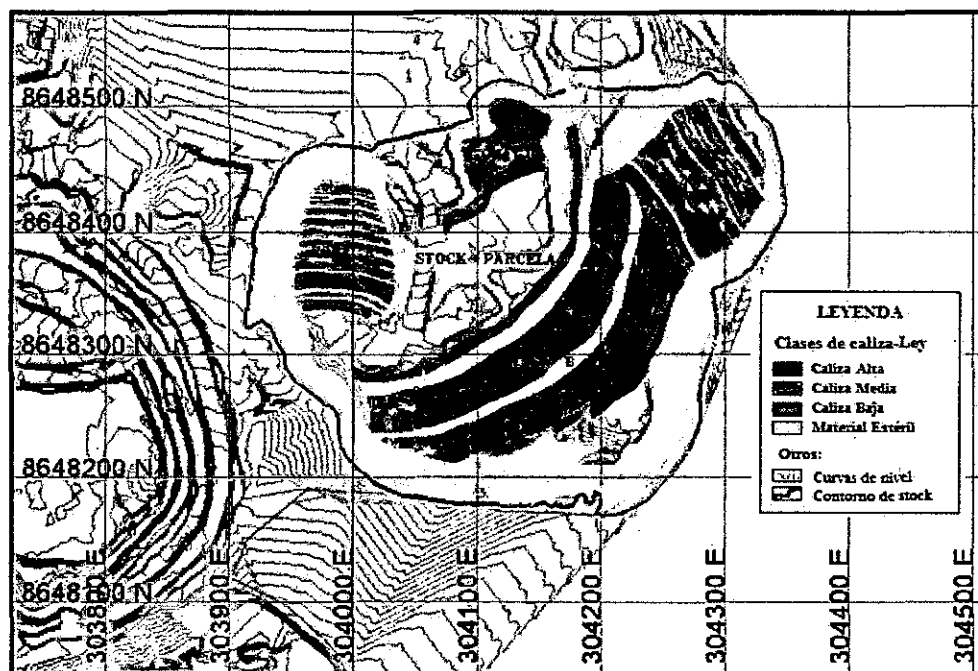
TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**Descripción:**

El botadero Parcela se encuentra en la quebrada Pucará al Este y adyacente al tajo principal de Pucará; está constituido por un depósito de material estéril y caliza de leyes heterogéneas. El botadero se ha construido sobre el flanco derecho de la quebrada Pucará, desde la cota 300 hasta 500 msnm sobre las calizas Atocongo y las andesitas Quilmaná, que se presentan moderadamente meteorizadas y fracturadas. En el fondo de la quebrada se han acumulado depósitos coluviales compuestos por fragmentos de roca subangulosa, que en tamaño va desde cantos hasta grava fina.

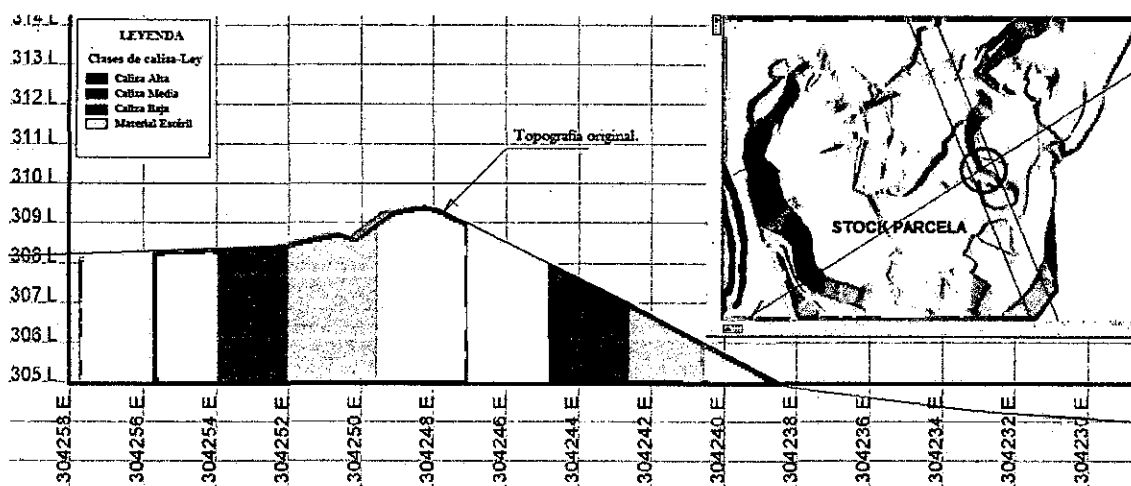
El material del botadero Parcela fue depositado en forma concéntrica, dispuesto en una secuencia vertical de capas intercaladas de material estéril con caliza. (Ver Figura 04).



**Figura 04.** Representación gráfica de la distribución de los materiales del stock Parcela.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Sección 01.** Distribución de capas de material en el stock Parcela.

El botadero de Parcela está conformado por 4 bancos con alturas que varían entre 4 a 10 metros. El ancho de cada plataforma es de **330m** por **392m** de largo.

Proyectado					Actual			
Nivel	Ángulo	Berma	Altura	Volumen	Nivel	Ángulo	Altura (m)	Berma (m)
350	37°	15	30	11151804	328	33°	18	18
380	37°	15	30	10407850.5	338	38°	10	57
410	37°	15	30	10137697.5	386	12°	14	21
440	37°	15	30	8089063.5	466	36°	16	21

**Tabla 04.** Parámetros geotécnicos del stock Parcela.

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

### **BOTADERO DUCTO:**

**Ubicación Referencial:** el botadero se ubica al sur-este del tajo principal.



**Plano N° 10.** Ubicación del stock Ducto en el tajo Pucará.

**TESIS:**

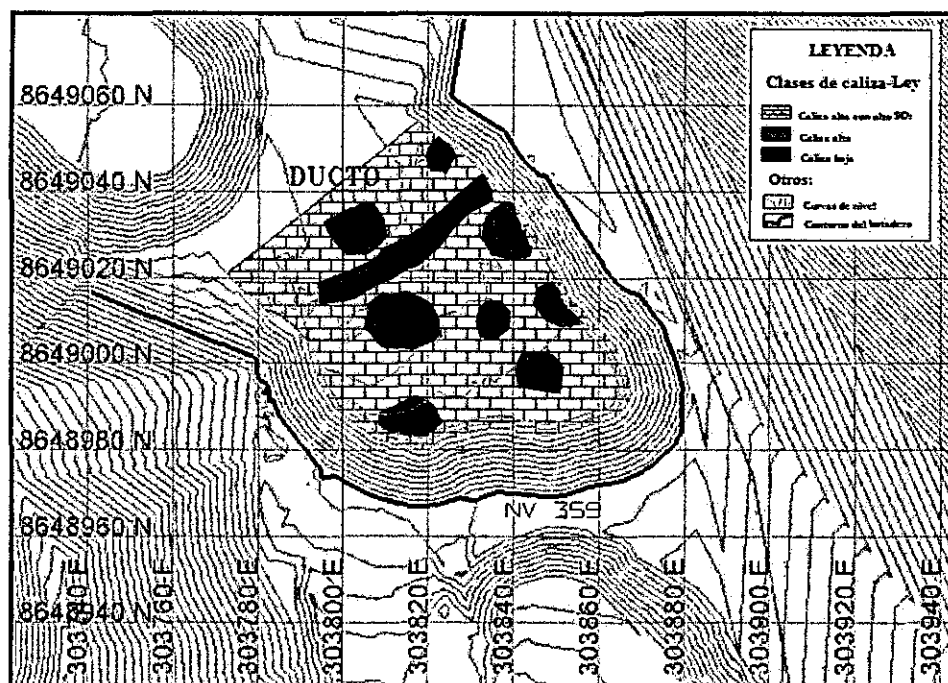
**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**



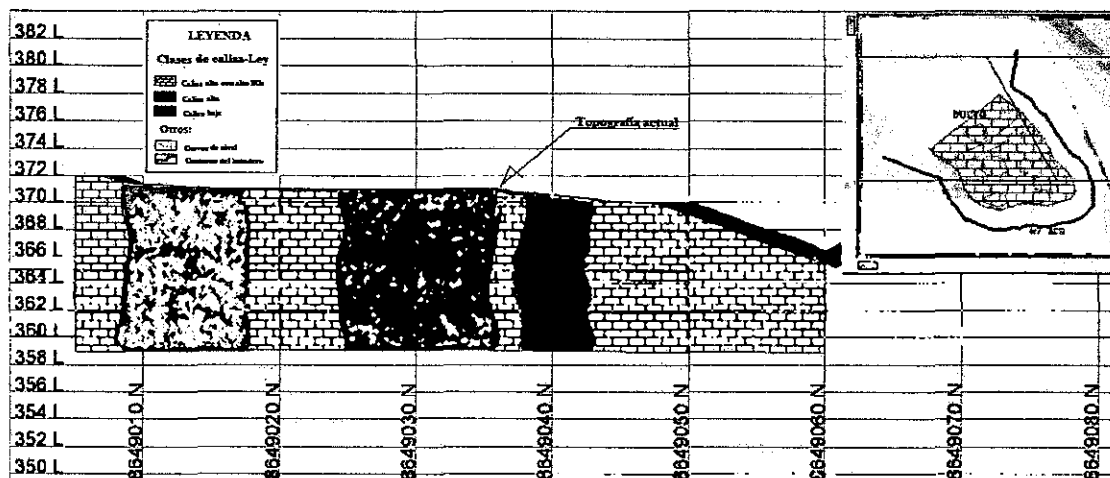
**Foto 14.** Vista Panorámica del botadero Ducto.

**Descripción:**

El botadero o stock Ducto está conformado preponderantemente por calizas micríticas de leyes heterogéneas, reflejadas principalmente por el contenido variable de óxido de calcio y óxido de azufre. Por sectores, en reconocimiento geológico, se observaron áreas menores (restringidas) de caliza "alta" de coloración beige, con aparente bajo contenido de azufre y con venillas irregulares de calcita de hasta 2cm de espesor. La caliza con alto contenido de azufre y predominante en el stock Ducto, presentaba coloración gris oscura, diseminaciones agrupadas de pirita de hasta a 3cm de tamaño y diseminaciones menores de pirrotita (muy débil, <1%), fuerte venilleo de calcita ( $\geq 20\%$ ) y presencia de óxidos de hierro en venillas milimétricas (<10mm) y en fracturas con aberturas de hasta 1mm. Ver figura 5.



**Figura 05.** Representación gráfica de la distribución de los materiales del stock  
Ducto.



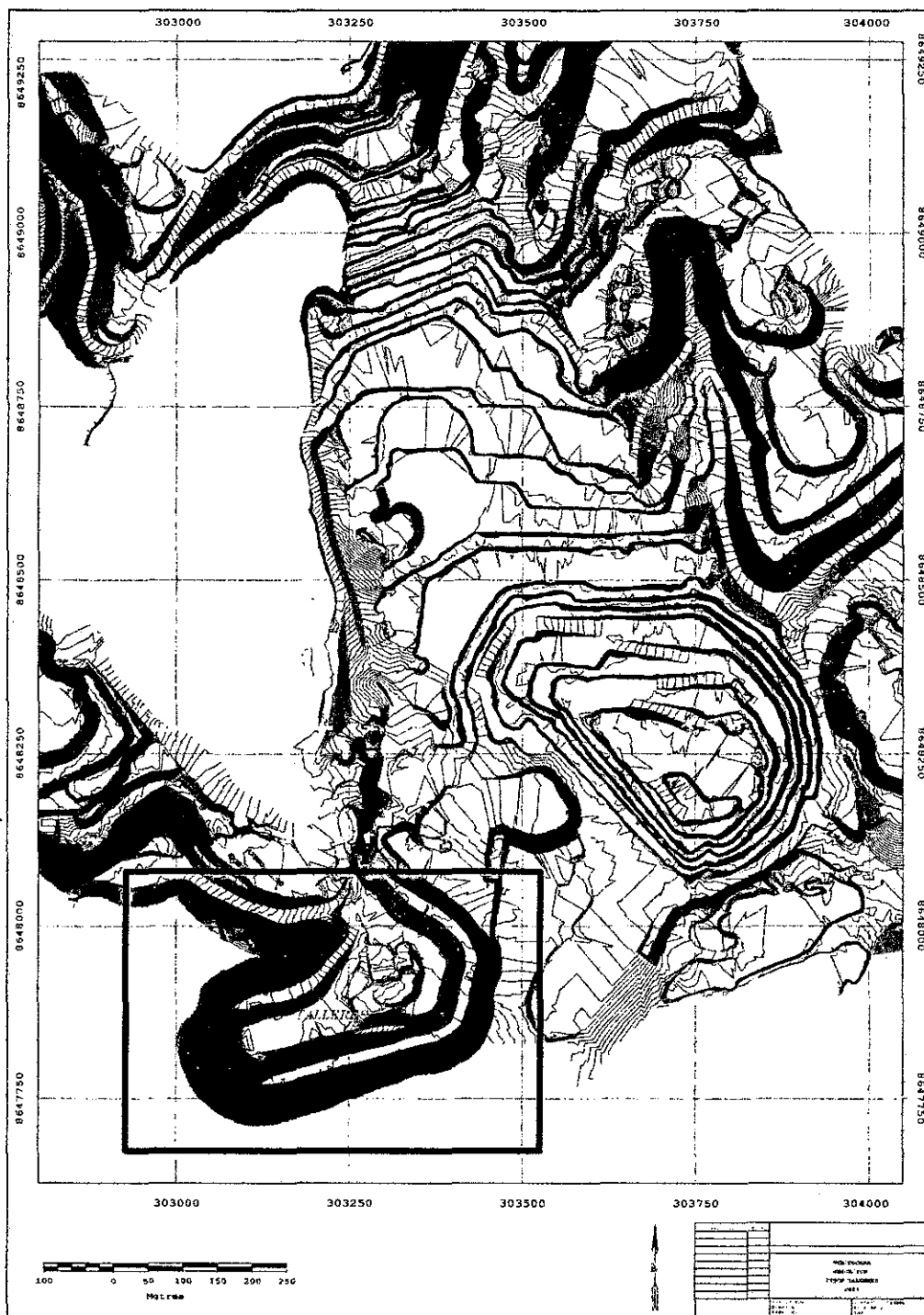
**Sección 02.** Distribución de capas de material en el botadero Ducto.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

### **BOTADERO TALLERES:**

### **Ubicación referencial:**

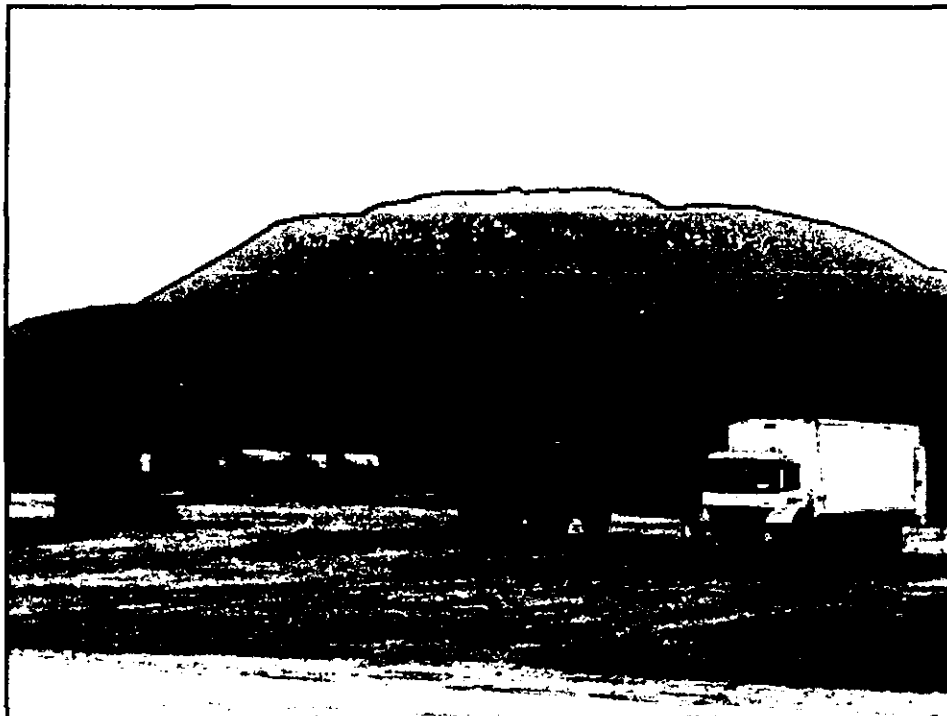


**Plano N° 11. Ubicación del stock Talleres en el tajo Pucará.**



**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**



**Foto 15.** Botadero Talleres.

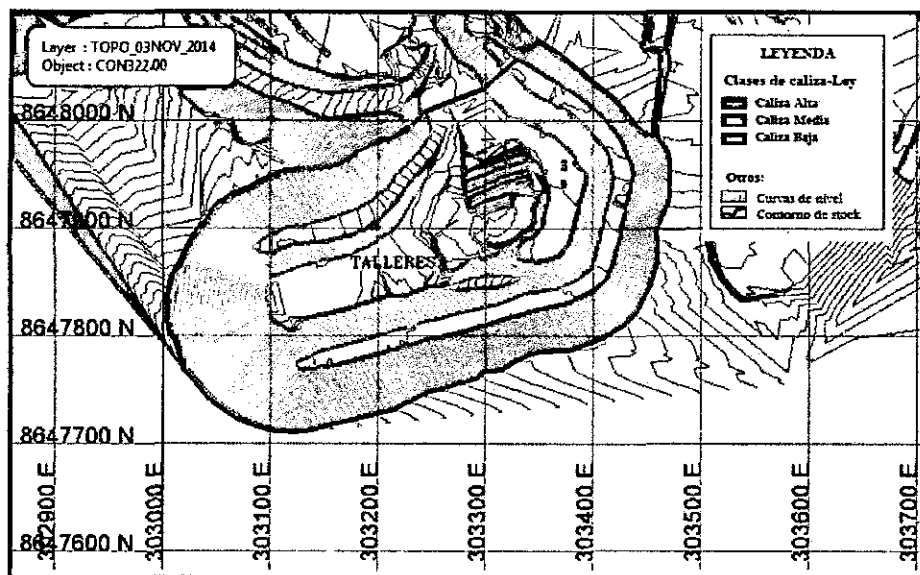
**Descripción:**

Este material de desmonte fue acumulado al pie de la ladera derecha de la quebrada Pucará y fue dispuesto sobre una morfología irregular conformada por un promontorio rocoso de forma alargada y llanura aluvial colindante, es decir, este botadero está cimentado sobre dos tipos litológicos, el basamento rocoso corresponde a la formación Pamplona caracterizada por presentar limolita en intercalaciones con caliza y marga y el depósito superficial de origen aluvial compuesto por grava arenosa compacta.

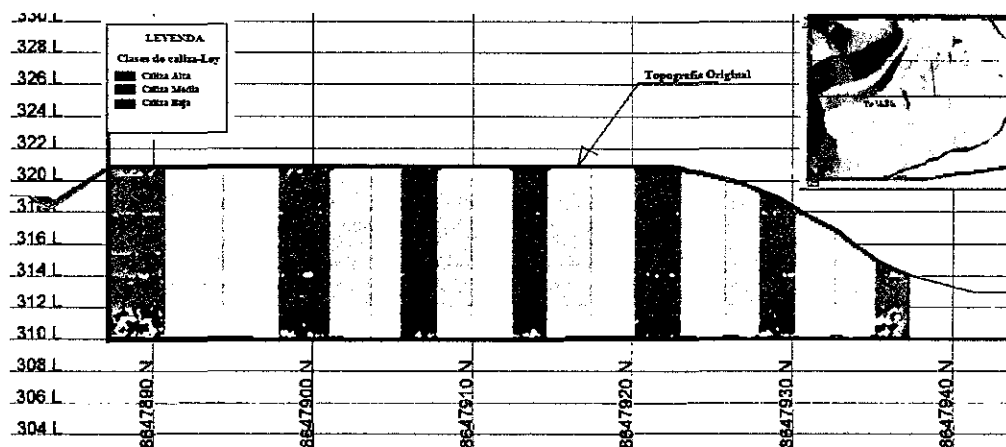
El material del botadero Talleres fue depositado en una secuencia vertical de capas intercaladas de caliza de alta, media y baja ley.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Figura 06.** Representación gráfica de la distribución de los materiales del botadero Talleres.



**Sección 03.** Distribución de capas de material en el botadero Talleres.

El botadero de Talleres está conformado por 3 bancos con alturas que varían entre 10 a 30 metros.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Proyectado		Actual	
Nivel	270	Nivel	312
Ángulo	37°	Ángulo	33°
Berma(m)	25	Berma (m)	220
Altura(m)	30	Altura (m)	70

**Tabla 05.** Parámetros geotécnicos del botadero Talleres.

### 3.2.2. MUESTREO PROPUESTO E IMPLEMENTADO

#### 3.2.2.1. MUESTREO DE CAPAS ADOSADAS:

Este muestreo fue ideado en base a la necesidad de homogenizar debidamente todas las capas de material heterogéneo preexistente en el stock de Parcela. Es efectivo sí sólo si las capas presentan una disposición vertical.



**Foto 16.** Disposición real de los diferentes tipos de material en el Stock Parcela.

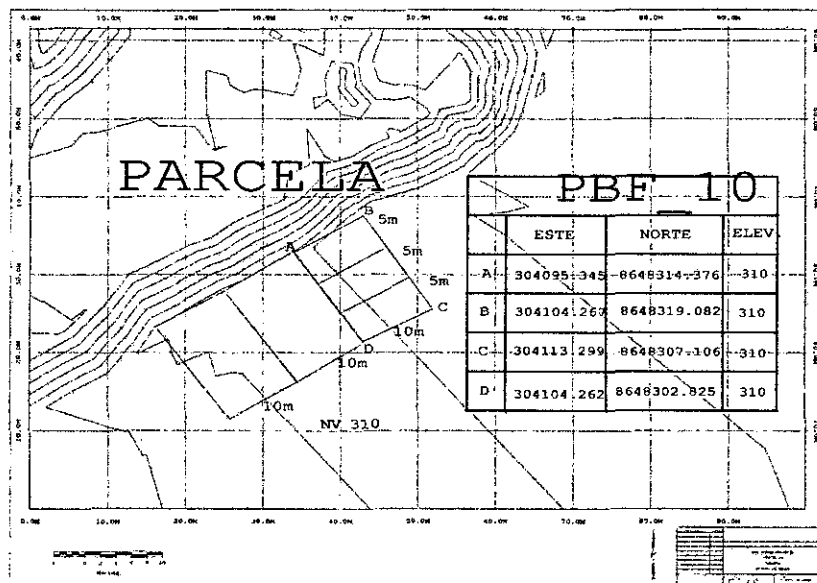
**TESIS:**

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

La implementación de este tipo de muestreo abarcó los siguientes pasos:

**3.2.2.1.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE:**

La malla sugerida para el muestreo es de 10m de ancho, por 15m de largo, por 3m de altura. Los 15 metros de largo son subdivididos en 3 tramos de 5m cada uno.



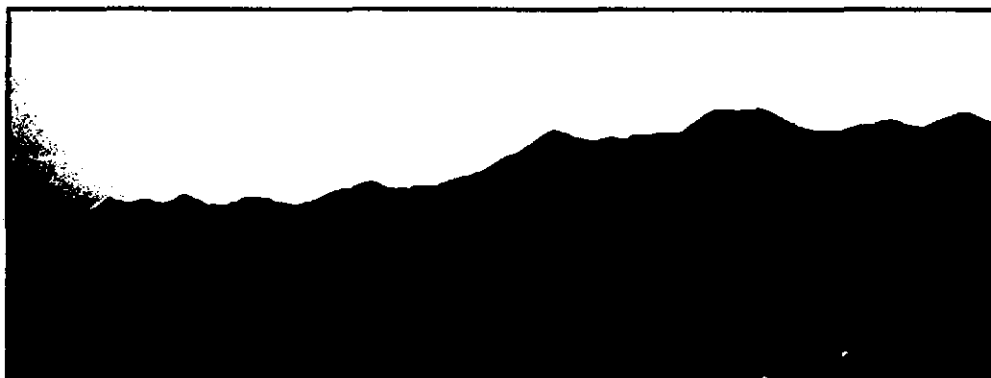
**3.2.2.1.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO:**

Consiste en marcar la malla diseñada en gabinete. Se toma como referencia la cresta del banco a cortar con las coordenadas y cotas asignadas de los diferentes vértices del frente. Los puntos AD y BC indican los 15 metros de largo, los cuales son marcados en la plataforma superior del banco del stock para ser subdivididos en tres tramos de 5 metros de largo cada uno cada.

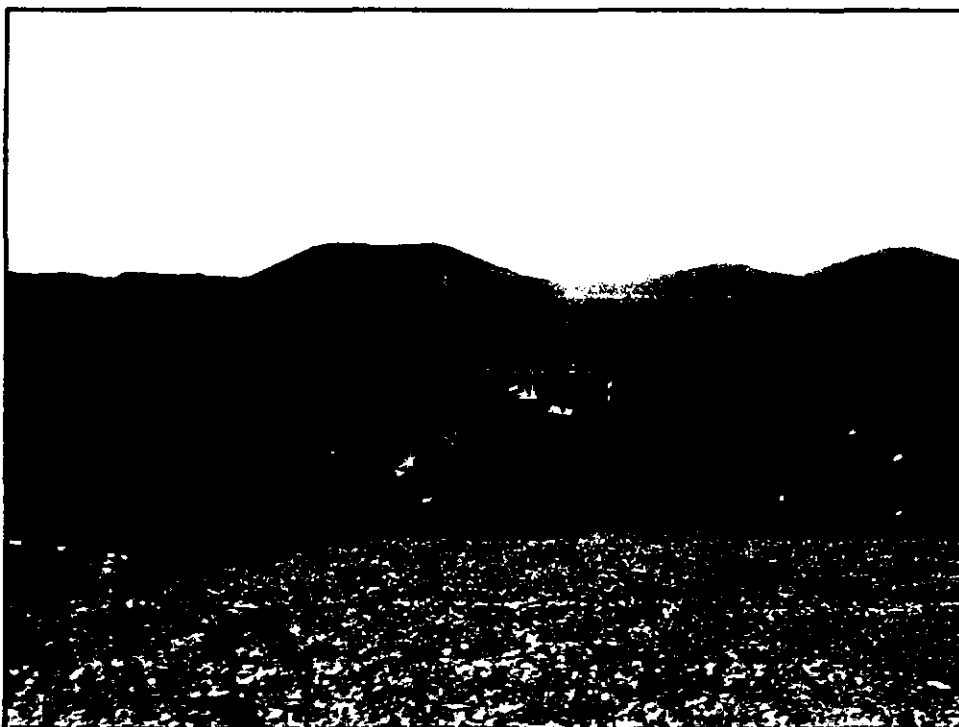
Para la capa A y B la altura es definida por el corte que puede realizar la hoja topadora del tractor que equivale a 1.5 metros aproximadamente. Para este caso el tractor a utilizar es un D8T.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**



**Foto 17.** Señalización de malla en plataforma de botadero.



**Foto 18.** Señalización de malla en plataforma de botadero.

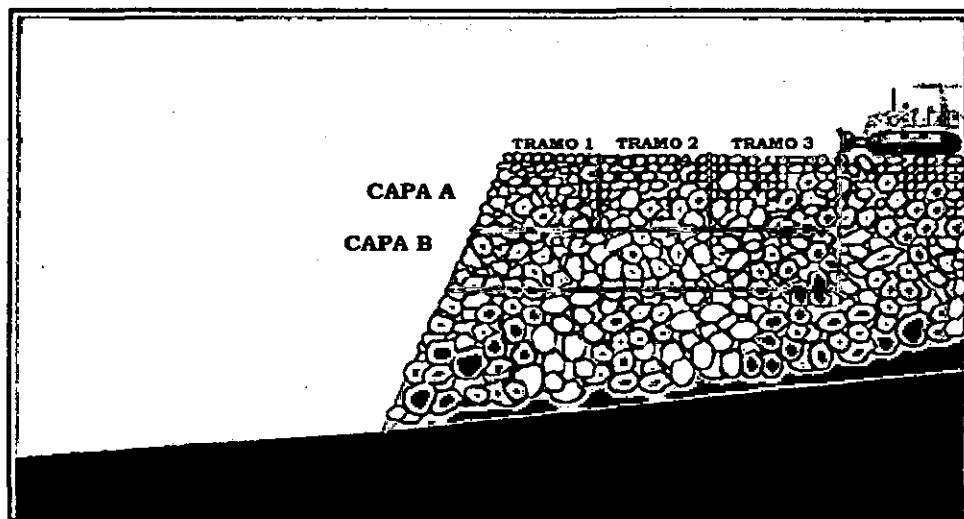
**3.2.2.1.3. HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAL:**

En base a los diseños previos de la malla en campo, el tractor realiza cortes horizontales perpendiculares a las diferentes capas de caliza existentes, principalmente en el stock de Parcela, de tal manera que va mezclando todas las capas, homogenizando todo el material. Tal y como

**TESIS:**

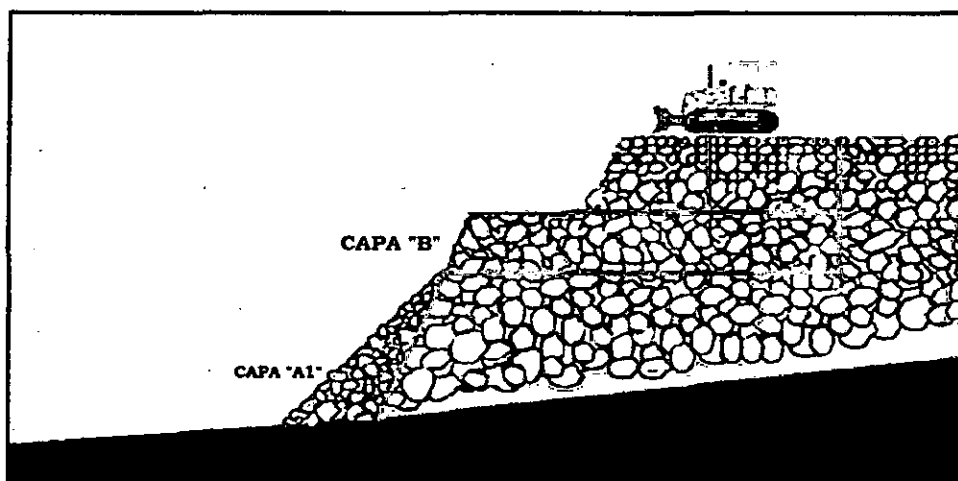
**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

se menciona en el ítem 3.2.2.1.2. se considera el diseño de malla descrito y se inicia la labor cortando el primer tramo que está representado por los 5 primeros metros de largo, por 10 metros de ancho y por 1.5 metros de altura, el cual corresponde a la "Capa A", se sigue el mismo procedimiento para los 2 siguientes tramos que se encuentran dentro de los 15 metros de largo correspondientes a la misma capa.; para la capa B se sigue el mismo procedimiento de homogenización. Es importante mencionar que los tres metros de altura designados, son divididos en dos capas con alturas aproximadas de 1.5m cada una, a las cuales se les denomina "Capa A" y "Capa B". (Ver Figuras 7, 8, 9 y 10).

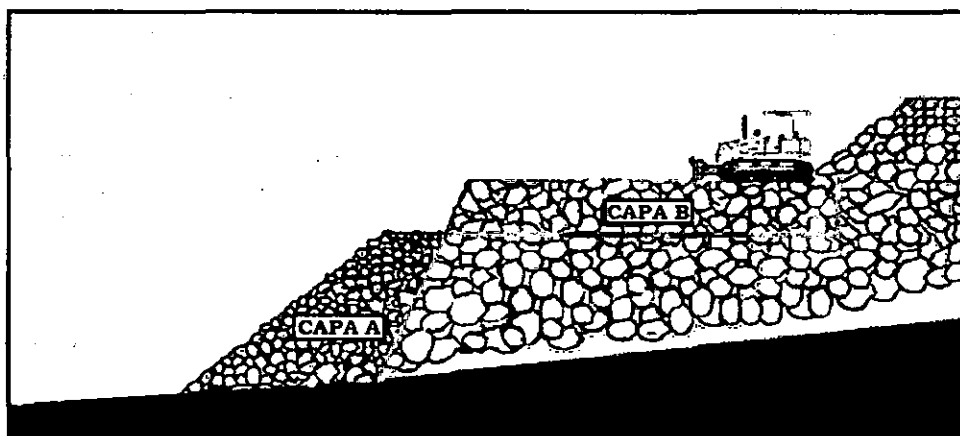


**Figura 7.** Diseño previo a homogenización por tractor.

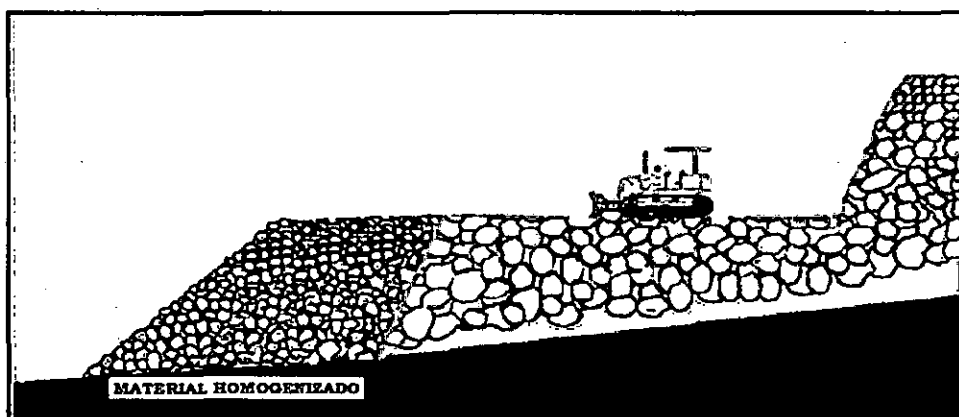
TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Figura 8.** Homogenización del primer tramo.



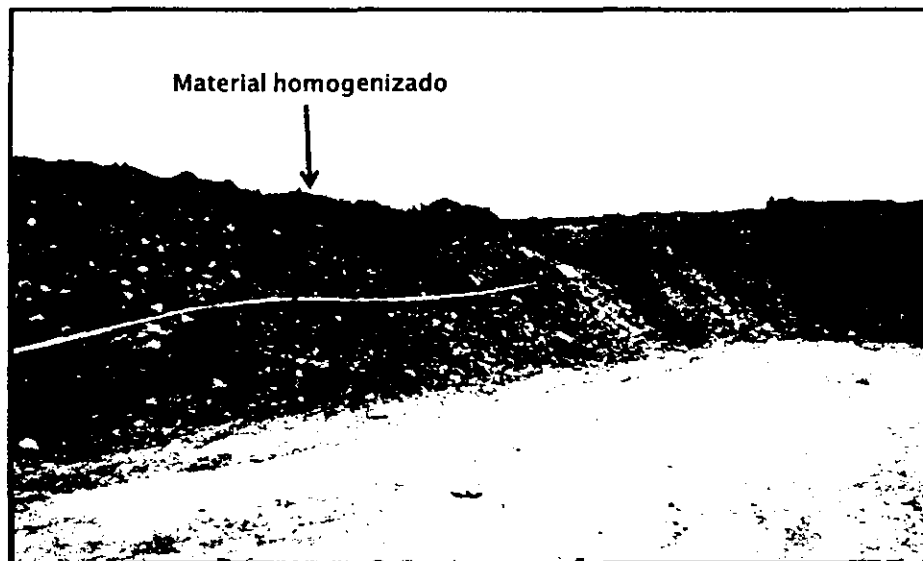
**Figura 9.** Homogenización de capa "A".



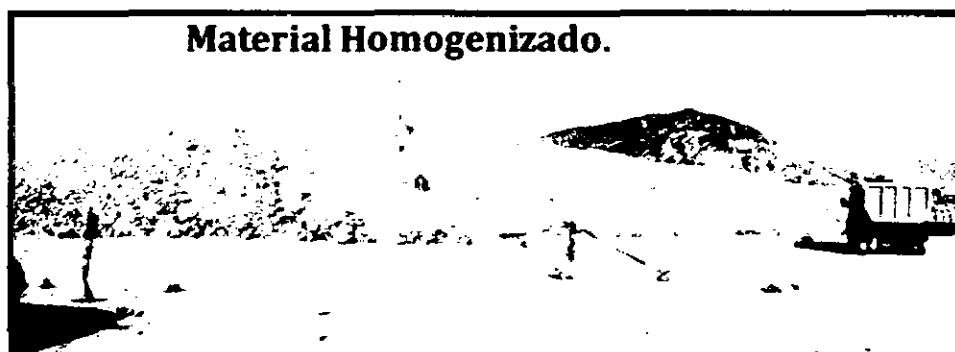
**Figura 8.** Homogenización de todas las capas involucradas en los 15 metros de diseño.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Foto 19.** Material homogenizado.



**Foto 20.** Material homogenizado en los diferentes frentes.

#### **3.2.2.1.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:**

**a) Número de Personas:** Dos (2) muestreros.

**b) Equipo de protección personal obligatorio( EPP):**

- Casco.
- Guantes.
- Taponeras u orejeras.
- Un par de lentes de seguridad normales.
- Zapatos de seguridad.
- Protector respiratorio.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**c) Equipos y Herramientas a Usar:**

- Huincha de 30 a 50 metros.
- Recibidor de muestra (manta de teflón).
- Pintura spray.
- Sacos (bolsa plástica de alta densidad).
- Talonahrio de muestreo (correlativo).
- Precintos (corchete grueso).
- Talonario de informe (report) de muestreo.
- Lápices de pasta y mina.
- Cuñas manuales "combo" o "macho" de 4 libras.
- Una pala punta de huevo o especial.
- Tractor D8T.

**d) Etapas Básicas del Trabajo:**

**Recepción y revisión de equipos y herramientas.**

- Verificar que la pala se encuentre en buenas condiciones.
- Revisar que los EPP estén en buenas condiciones para el trabajo, tanto en fecha de vencimiento como en su estado físico.
- Verificar que las cuñas se encuentren en buen estado, tanto punta como culatín.

**Operación de muestreo.**

Asegurar que todo el material esté previamente homogenizado y que la altura de muestreo sea la indicada para realizarlo (<4 metros).

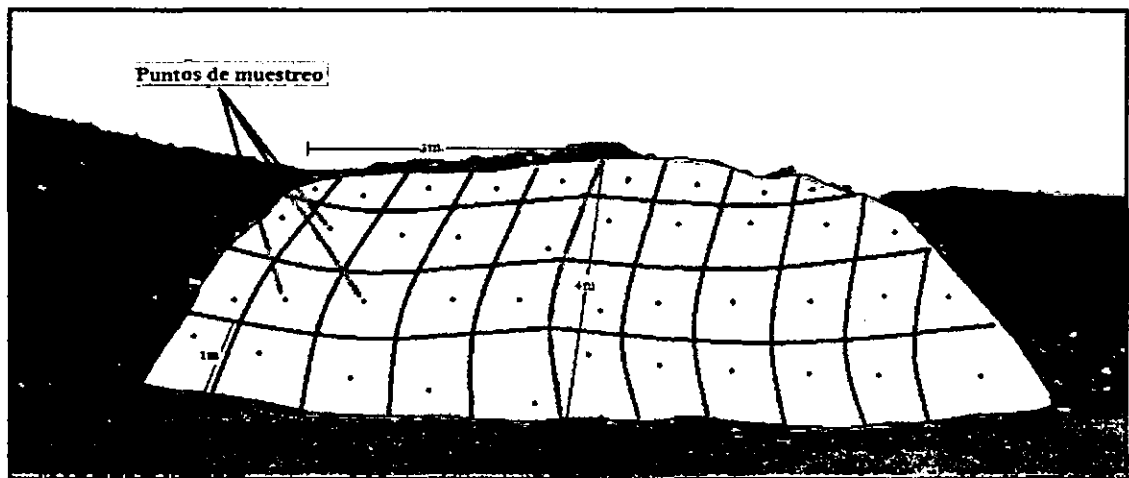
Cubrir el frente con una malla imaginaria o fabricada con cuerdas anudadas con abertura de 1 m<sup>2</sup> aproximadamente.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

**Dimensiones de la malla:**

Sacar una porción en el centro de cada abertura de la malla y según una dirección diagonal en forma de zigzag. Otra forma de obtener la muestra es sacarla de los puntos en donde se intercepta la malla. Cada porción tomada en la dirección designada conformará una muestra que debe pesar aproximadamente 15 a 20 kilogramos por cada 10 toneladas de material homogenizado, entonces por cada paquete de material homogenizado de 142.5Tn se tomarán 10 muestras aproximadamente; de las cuales se divide en dos grupos de 5, ambos se homogenizan por separado, se cuartean y se toma una muestra representativa de 40Kg de cada grupo; después se mezclan ambas muestras, se vuelve a cuartear y se tiene una última muestra representativa de 20 kg.



**Figura 11.** Malla para un muestreo de frentes.

Utilizar la pala y en presencia de bolones en el punto de muestreo, sacar fragmentos desde los mismos (bolones), usando la cuña y combo (tipo chip sampling).

Una vez completada la extracción de la muestra, debe ensacarse inmediatamente asignándole, para su identificación, el número

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

correlativo de muestreo que corresponde a "A1" por ser la primera muestra del tramo 1 de la Capa A. El saco (bolsa plástica) debe quedar bien sellado.

Para la toma de muestras siguientes (en la misma ruma), repetir el procedimiento a partir de la indicada línea arriba, respetando de sacar las muestras correspondientes de cada capa y dándoles la numeración correspondiente.

**e) Preparación de muestra:** Se debe identificar la bolsa o saco con tinta indeleble (plumón), siguiendo el orden según fue extraída.

- Rótulo de muestra correlativo: se debe indicar la letra inicial del stock, después, asignar la zona del stock, el tipo de muestreo y finalmente el número que corresponde, tal y como se indica en el siguiente ejemplo:

El stock Parcela como ya se indicó anteriormente está zonificado en cuatro zonas: A, B, C y D, para el cual se asigna la siguiente rotulación de las muestras:

**PDF\_1(A)**

Dónde: P=Parcela, D=Zona D, F=frente, 1=Número de muestra y A=Capa A. en otras palabras significa: muestra del stock Parcela, de la zona D, correspondiente al frente N°1 de la capa A. Y así sucesivamente se sigue el orden correlativo de todas las muestras.

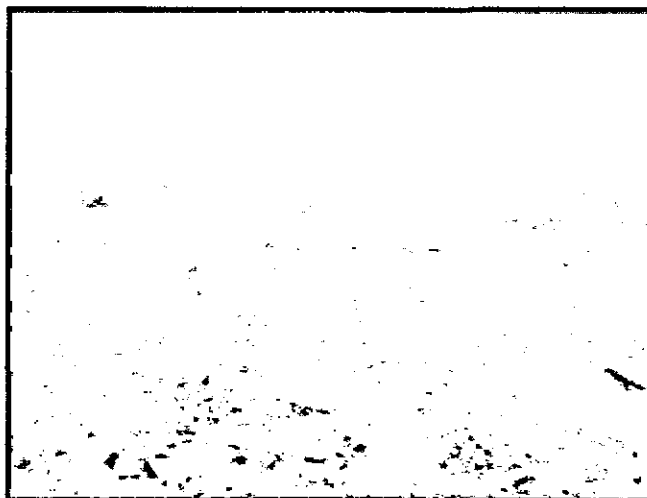
- Tonelaje aproximado que representa.
- Turno en que fue muestreada.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

### 3.2.2.1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA

Posterior a los cortes del tractor, se marca la cresta original para ser tomada como referencia para designar el límite final de carguío, este es marcado por banderines de color amarillo con material reflexivo. Después siguiendo la dirección del corte se delimitan cada uno de los frentes preparados con cintas de color amarillo a rojo.



**Foto 21:** Límite de carguío de material homogenizado.

Posteriormente, se coloca un rótulo en el que se indique el tipo de caliza, N° de muestra (una tablilla) y los óxidos principales que la conforman, asegurándose que sea capaz de permanecer en dicho punto.

Los rótulos a utilizar deben presentar el siguiente diseño:

CALIZA ALTA		
P	CaO	44.46
D	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.82
F	SO <sub>3</sub>	0.51
-	MgO	1.83
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.7
0	AlcTot	0.56

CALIZA MEDIA		
P	CaO	42.87
B	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17
F	SO <sub>3</sub>	1.12
-	MgO	2.28
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00
4	AlcTot	0.53

CALIZA BAJA		
P	CaO	41.43
D	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.92
F	SO <sub>3</sub>	1.36
-	MgO	2.20
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.3
3	AlcTot	0.63

ESTÉRIL		
P	CaO	
D	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
F	SO <sub>3</sub>	
-	MgO	
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
0	AlcTot	

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO



**Foto 22.** Tablillas fabricadas para frentes y camas.

Finalmente, todos los puntos marcados en campo de los diferentes frentes o capas serán levantados por topografía a los cuales les asignará coordenadas para su posterior cartografiado o diseño de plano en gabinete de los diferentes stocks.

Al confeccionar el plano este contará con lo siguiente:

- Esquema de la cancha.
- La orientación del plano respecto al norte.
- La ubicación de las muestras.
- En lo posible, en escala 1:250.

Es importante recalcar, que es responsabilidad exclusiva de los trabajadores la manutención y cuidado de todos los implementos de edición, materiales, equipos de protección personal, en general.

### **3.2.2.2. MUESTREO POR CAMAS.**

Este método es empleado cuando la altura de todos los bancos de los diferentes stocks presentan una altura menor a 3 metros, ya que a diferencia del muestreo por capas adosadas, no existe una altura determinada para que el material caiga a lo alto del frente del stock. Es por

**TESIS:**

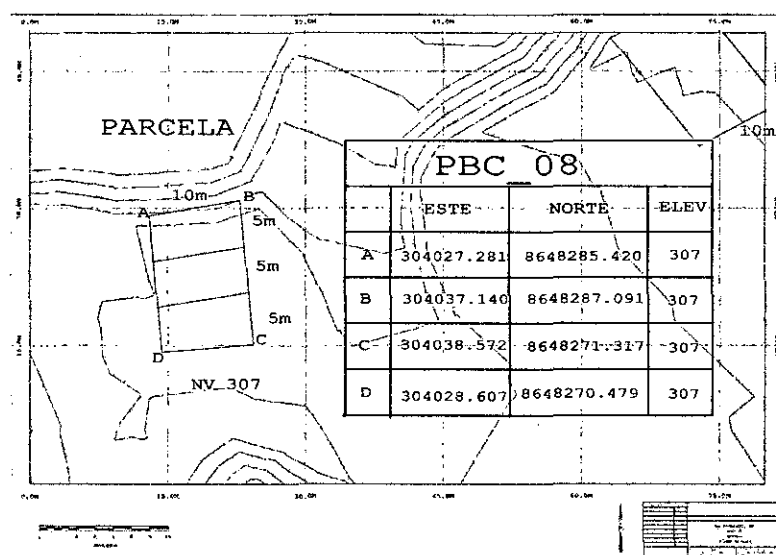
**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

eso que es posible de hacerlo, por espacio físico de la cancha o tratándose de un remuestreo, en cuyo caso la roca o mineral a remuestrear será previamente chancado, dependiendo de su granulometría. De acuerdo a la disposición del material conformante de los stocks será conveniente extender la pila con tractor o cargador frontal, dejando una cama de 1 a 3 metros de altura. Esta técnica nos entrega una muestra mucho más representativa que la pila, por presentar el problema de segregación de tamaños del material (más fino en la parte alta y mayor en la base).

A continuación se describirá el procedimiento seguro recomendado, para el muestreo en cama, el cual es aplicable al de pila con las modificaciones ya descritas.

### 3.2.2.2.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE:

La malla para muestreo fue diseñada: 10 metros de ancho, por 15 metros de largo, por 1 o 3 metros de altura.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

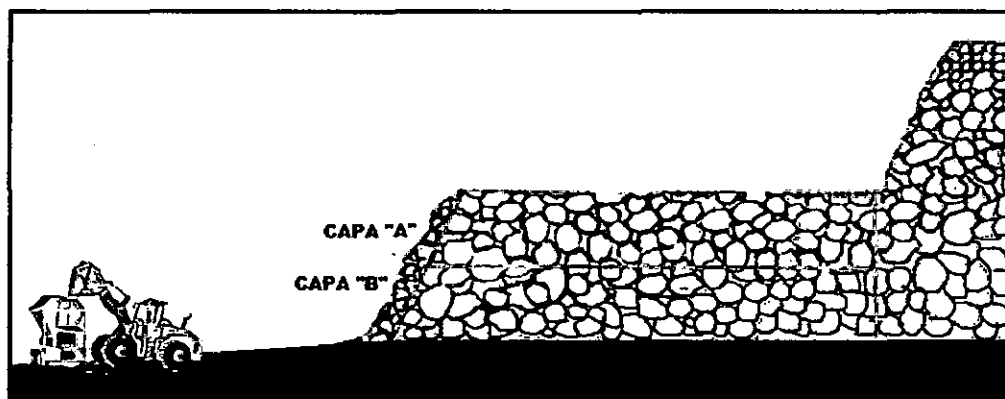
#### **3.2.2.2.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO:**

Consiste en marcar la malla diseñada en gabinete. Se toma como referencia la cresta del banco a cortar con las coordenadas y cotas asignadas de los diferentes vértices de la cama. Los puntos AD y BC indican los 15 metros de largo, los cuales son marcados en la plataforma superior del banco del stock para ser subdivididos en tres tramos de 5 metros de largo cada uno cada. La altura es de aproximadamente 3 metros. Para este caso el tractor a utilizar es un D8T.

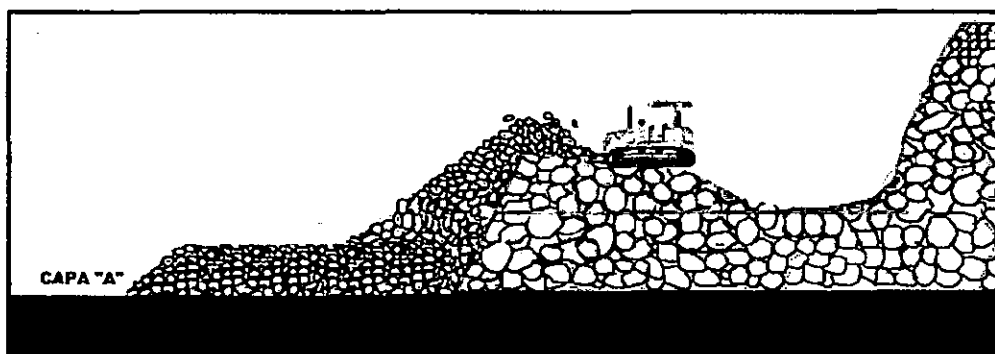
#### **3.2.2.2.3. HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAL:**

En base a los previos diseños de la malla en campo, el tractor realiza cortes horizontales perpendiculares a las diferentes capas de caliza preexistentes como es el caso del stock Parcela. Es importante mencionar que el cargador frontal será empleado siempre y cuando el material conformante de un stock sea uniforme, es decir presente características físicas parecidas como son los casos de los stocks Ducto y Talleres. En ambos casos, el material se homogenizará.

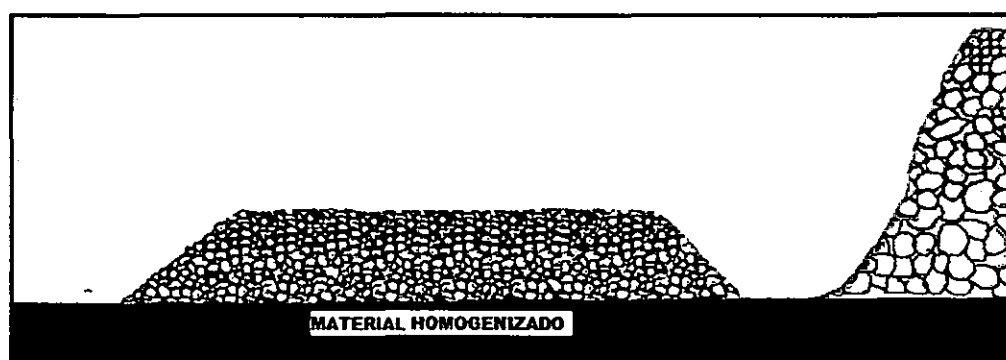
Inicia cortando el primer tramo que está representado por los 15 primeros metros de largo, por 10 metros de ancho y por 1.5 metros de altura, al cual se le denomina "Capa A", extendiendo el material 15 metros delante de la cresta original. Es importante mencionar que los tres metros de altura designados, son divididos en dos capas con alturas aproximadas de 1.5m cada una, a las cuales se les denomina "Capa A" y "Capa B".



**Figura 12.** Diseño previo a homogenización por tractor.



**Figura 13.** Homogenización por tractor de la capa "A".



**Figura 14.** Homogenización en cama de la capa "A" y capa "B".



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

#### **3.2.2.2.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:**

**a) Número de Personas:** Dos (2) muestreros.

**b) Equipo de Protección Personal Obligatorio(EPP):**

- Casco.
- Guantes.
- Taponeras u orejeras.
- Un par de lentes de seguridad normales.
- Zapatos de seguridad.
- Protector respiratorio.

**c) Equipos y Herramientas a Usar:**

- Wincha de 30 a 50 metros.
- Recibidor de muestra (manta de teflón).
- Pintura spray.
- Sacos (bolsa plástica de alta densidad).
- Talonario de muestreo (correlativo).
- Corchetera de muestreo (corchete grueso).
- Talonario de informe (Report) de muestreo.
- Lápices de pasta y mina.
- Cuñas manuales "combo" o "macho" de 4 libras.
- Una pala punta de huevo o especial.
- Tractor D8T.

#### **d) Etapas Básicas del Trabajo**

##### **Ubicación de la ruma/pila.**

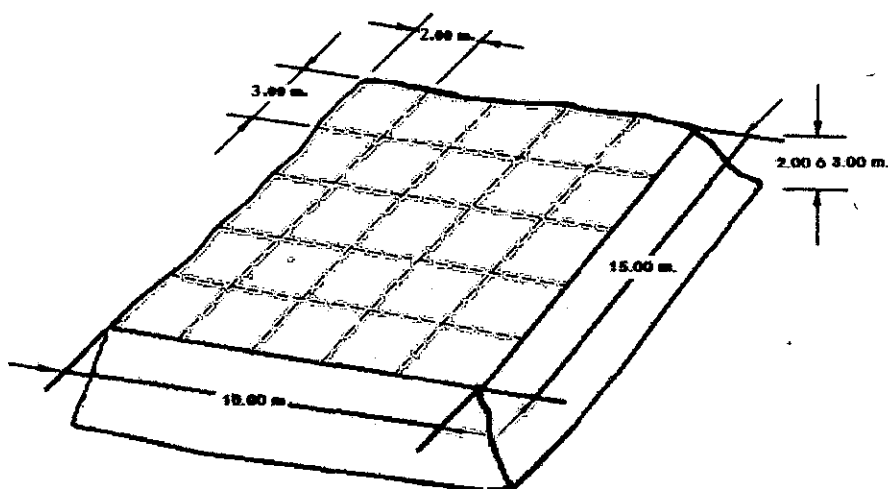
- Ubicar la marina a muestrear por medio de croquis diario del estado de canchas.
- Ubicar la cancha y marina en terreno.

##### **Recepción y revisión de herramientas.**

- Verificar que la pala se encuentre en buenas condiciones.
- Verificar que las cuñas se encuentren en buen estado, tanto punta como culatín.

##### **Operación de muestreo.**

- Asegurar que la pila tenga forma de torta rectangular y que el material esté previamente homogenizado.
- Cubrir la marina con una malla imaginaria o fabricada con cuerdas anudadas con abertura de  $6 \text{ m}^2$  aproximadamente (ver Figura 15).



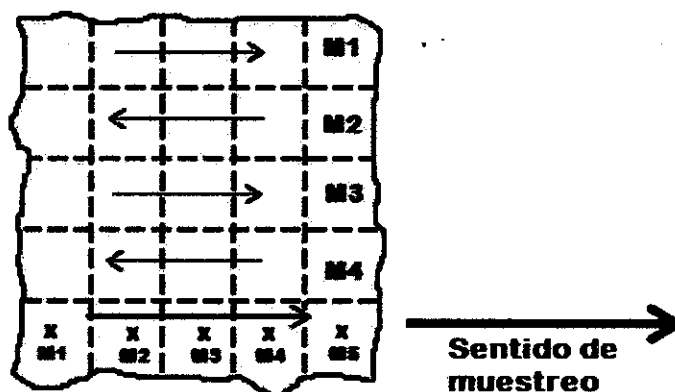
**Figura 15.** Dimensiones de la malla en un muestreo en cama.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

**Dimensiones de la malla:**

Sacar una porción en el centro de cada abertura de la malla y según una dirección vertical (de arriba hacia abajo) u horizontal (de caja a caja). Cada porción tomada en la dirección elegida conformará una muestra que debe pesar aproximadamente 15 a 20 kilogramos por cada 80 toneladas de marina. El tonelaje estimado para cada una de las capas A y B es de 427.5tn, por lo que se sacarán 5 muestras de 20 kilogramos cada 5 aberturas de la malla, después, mediante el proceso de cuarteo sucesivo (similar al que se detalla en el punto 3.2.2.1.4. del muestreo de capas adosadas) se obtendrá una muestra representativa de 20 kilos, la cual corresponde a la capa A, se continuará con el método de muestreo para obtener la muestra de la capa B. Utilizar la pala y en presencia de bolones en el punto de muestreo, sacar fragmentos desde los mismos (bolones), usando la cuña y combo (tipo chip sampling) (ver Figura 15) Otra forma de obtener la muestra es sacarla de los puntos en donde se intercepta la malla.



**Figura 16.** Sentido del muestreo en cama.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Una vez completada la extracción de la muestra, debe ensacarse inmediatamente asignándole el número correlativo de muestreo que corresponda para su debida identificación.

**e) Preparación de muestra:** El saco (bolsa plástica) debe quedar bien sellado. Se debe identificar la bolsa o saco con tinta indeleble (plumón), siguiendo el orden según fue extraída.

- **Rótulo de muestra correlativo:** se debe indicar la letra inicial del stock, después, asignar la zona del stock, el tipo de muestreo y finalmente el número que corresponde, tal y como se indica en el siguiente ejemplo:

El stock Parcela como ya se indicó anteriormente está zonificado en cuatro zonas: A, B, C y D, para el cual se asigna la siguiente rotulación de las muestras:

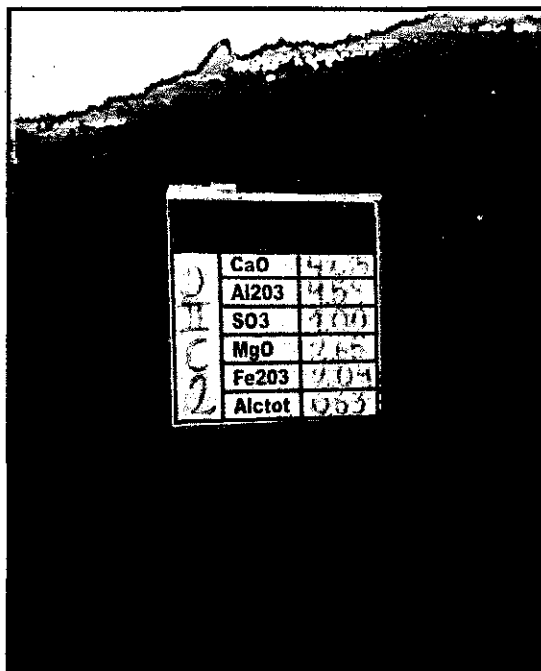
**PDC\_1(A)**

Dónde: P=Parcela, D=Zona D, C=Cama, 1=Número de muestra y A = Capa A.

En resumen significa: muestra del stock Parcela, de la zona D, correspondiente al frente N°1 de la capa A.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Foto 23.** Rótulo ubicado en el stock Ducto.

- Tonelaje aproximado que representa.
- Turno en que fue muestreada.
- Número de muestra correlativo: Dependiendo en el stock que fue extraída se continuará con el orden o numeración que le corresponda.
  - Sector del que proviene la marina:
  - Tonelaje aproximado que representa.
  - Turno en que fue muestreada.

### **3.2.2.2.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA**

Dejar materializado en el punto de muestreo, una señal que indique a lo menos el N° de muestra (una tablilla), asegurándose que sea capaz de permanecer en dicho punto.

Para la toma de muestras siguientes (en la misma marina), repetir el procedimiento a partir del punto 3.2.2.2.4, respetando de sacar las muestras en forma paralela a la dirección ya elegida para el muestreo (Figura 15).

Confeccionar plano horizontal indicando:

- Esquema de la cancha.
- La orientación del plano respecto al norte.
- La ubicación de las muestras.
- En lo posible, en escala 1:250.

Confeccionar en triplicado con la siguiente distribución: Topografía, sala de dibujo y archivo.

Luego de realizada la labor, los muestreros se retiran de la zona de trabajo, asegurándose de contar con todo el equipo de muestreo, ya que es de responsabilidad exclusiva de ellos la manutención y cuidado de todos los implementos de edición, materiales, equipos de protección personal, en general, todo cargo que se entrega para la operación de muestreo.

### **3.2.2.3. MUESTREO POR TRINCHERAS-CALICATAS**

Este tipo de muestreo es la fusión de dos métodos: muestreo en trincheras y muestreo en calicatas.

# TESIS:

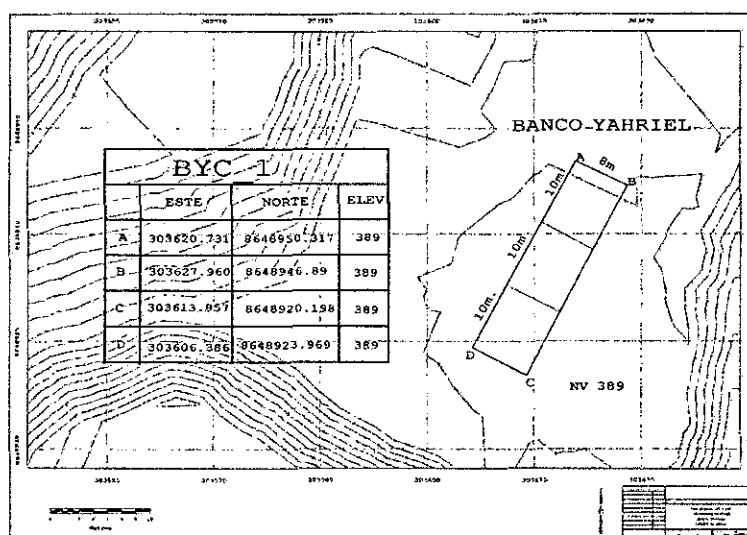
OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

En este caso, antes de iniciar cualquier trabajo de operación de homogenización, carguío y acarreo de posibles calizas de calidad, se emplea este muestreo como método de exploración para tener como referencia la disposición y tipo de material conformante de los futuros stocks. En resumen es un método laborioso y las muestras son solamente superficiales.

A continuación se describe paso a paso la forma en que se recomienda llevar a cabo la ejecución de este método.

## 3.2.2.3.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE:

La malla para muestreo será de 8 metros de ancho por 30 metros de largo; para esta malla la profundidad de corte variará entre 1 y 3 metros, la cual dependerá de la altura que presenten los bancos del stock a muestrear; cabe mencionar que la altura de los stocks en Pucará es muy variable, siendo la menor de 3 metros y la mayor de 40 metros.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

### **3.2.2.3.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO:**

Consiste en marcar en terreno la malla diseñada en gabinete, para eso se utilizará las coordenadas calculadas de cada punto en gabinete, una wincha larga de 50 metros y una roca o rumas de rocas de 40x40cm marcadas con spray de color rojo.

Se colocarán los puntos A, B, C y D de acuerdo al diseño de malla; luego se procederá el marcaje del primer área rectangular, para esto se medirá con wincha y demarcará con rumas los 8x30m determinados, debiéndose posteriormente segmentar con mediciones exactas el área referida en tres rectángulos de 8x10m, finalmente se deberán realizar mediciones de tal forma que se demarque dos sectores de áreas similares (8x30m) paralelos al primero y separados 5 metros uno del otro. Estas recomendaciones se hacen debido a las longitudes de los stocks reconocidos, en donde es común que se edifiquen 3 trincheras calicatas, separadas por 5 metros, y donde la altura es definida por el corte de la navaja del tractor. Para este caso el tractor a utilizar es un D8T.

### **3.2.2.3.3. PREPARACIÓN DE MATERIAL:**

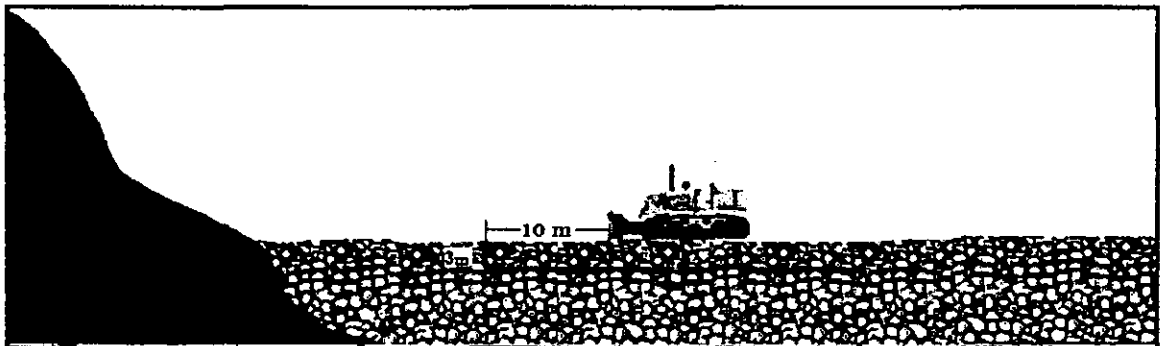
En base a los previos diseños de la malla en campo, el tractor corta el material formando zanjas, de más o menos 1.5 a 3 metros de profundidad y 30 metros de largo, en la parte plana superior del banco a muestrear en sentido transversal, en el fondo de la cual se obtienen las muestras subdivididas por tramos sistemáticos (no más de 5 metros de separación). En otras palabras, inicia cortando el primer tramo, que está representado por los 10 primeros metros de largo, por 8 metros de



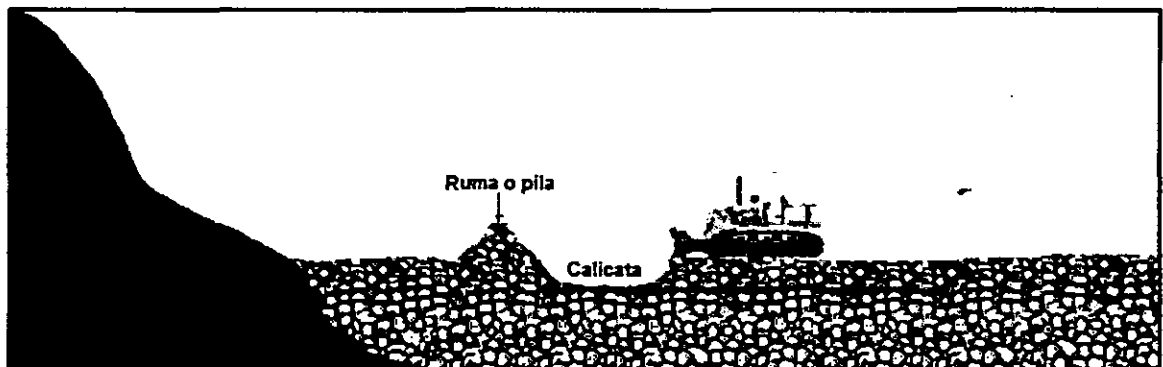
**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

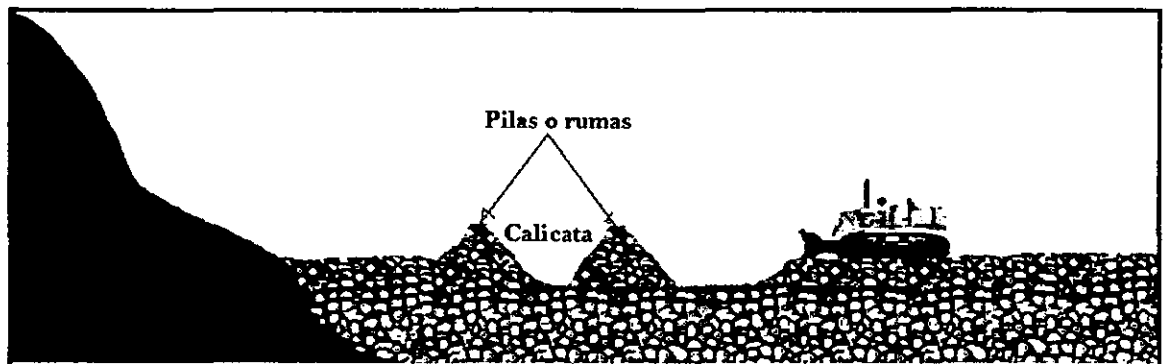
ancho y por 1.5 metros de profundidad, formando una trinchera-calicata; es así que en el inicio del primer tramo, el material cortado lo acumula en forma de pila. Este proceso lo realiza en los siguientes 20 metros restantes, formando tres catas y dos pilas intermedias. Es importante mencionar que la profundidad de corte está referenciada por la hoja topadora del tractor que equivale a 1.5m aproximadamente.



**Figura 17.** Diseño previo a elaboración de la Trinchera-Calicata por tractor.



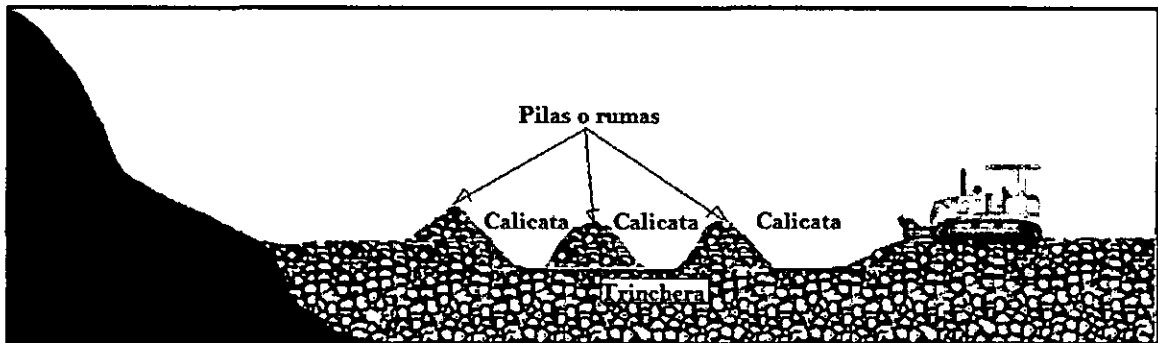
**Figura 18.** Construcción de la primera calicata.



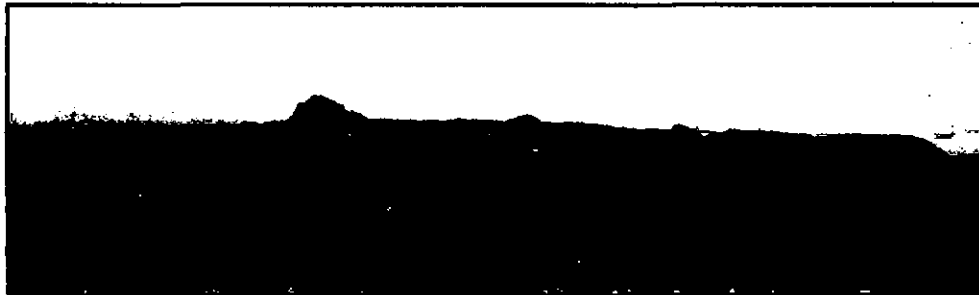
**Figura 19.** Construcción de dos calicatas y rumas.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**



**Figura 20.** Construcción finalizada de la Trinchera-Calicatas.



**Foto 24.** Vista de perfil de las Trincheras-calicatas.

**3.2.2.2.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:**

**a) Número de Personas:** Dos (2) muestreros.

**b) Equipo de Protección Personal Obligatorio:**

- Casco.
- Guantes.
- Taponeras u orejeras.
- Un par de lentes de seguridad normales.
- Zapatos de seguridad.
- Protector respiratorio.

**c) Equipos y Herramientas a Usar:**

- Huincha de 30 a 50 metros.
- Recibidor de muestra (manta de teflón).

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

- Pintura spray.
- Sacos (bolsa plástica de alta densidad).
- Talonario de muestreo (correlativo).
- Corchetera de muestreo (corchete grueso).
- Talonario de informe (Report) de muestreo.
- Lápices de pasta y mina.
- Cuñas manuales "combo" o "macho" de 4 libras.
- Una pala punta de huevo o especial.
- Tractor D8T.

**d) Etapas Básicas del Trabajo:**

**Ubicación de la marina.**

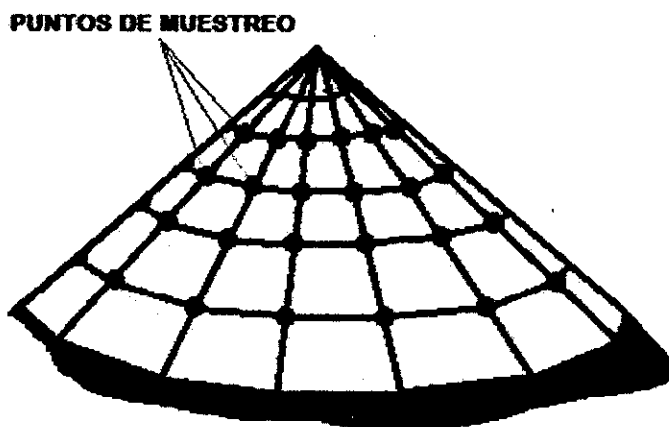
- Ubicar la marina a muestrear por medio de croquis diario del estado de canchas.
- Ubicar la cancha y marina en terreno.

**Recepción y revisión de herramientas.**

- Verificar que la pala se encuentre en buenas condiciones.
- Verificar que las cuñas se encuentren en buen estado, tanto punta como culatín.

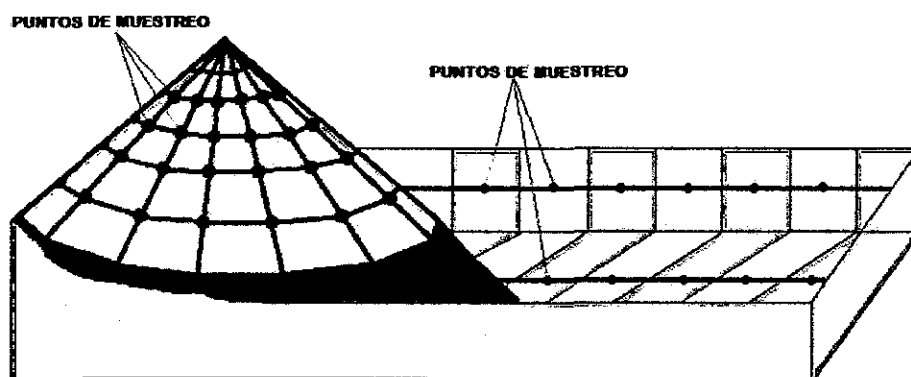
**Operación de muestreo.**

- Asegurar que la pila tenga forma de cono y que el material esté previamente homogenizado.
- Cubrir la marina con una malla imaginaria o fabricada con cuerdas anudadas con abertura de  $1 \text{ m}^2$  aproximadamente (ver Figura 21).



**Figura 21.** Dimensiones de la malla en un muestreo en Pila.

Las muestras se sacarán de la primera marina estoqueada en forma de pila cuya forma se asemeja a un cono (formada por el tractor). El cono se dividirá en forma imaginaria o con una malla de cuerdas anudadas en secciones aproximadas de  $1 \text{ m}^2$  (según tamaño de la pila) procediendo a tomar porciones de cada una de las intersecciones de esta malla, tomando mayor cantidad de muestra en la parte inferior del cono, disminuyendo hacia la parte alta.



**Figura 22.** Sentido del muestreo en trinchera-calicata.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

La cantidad de muestra será de entre 15 a 20 kilogramos por cada 10 toneladas de material. Por cuarteos sucesivos se reducirá a una muestra de 15 a 20 kilos repartida en dos bolsas, con el mismo número, la que se enviará a la sala de Preparación de Muestras. Para obtener una muestra representativa de la pila, no se formarán pilas mayores a 200 toneladas.

Para las calicatas-trinchera se tomarán muestras de las paredes y de la base, en total se extraerán tres muestras de aproximadamente 5 kilos cada una. No se hará un registro estratigráfico debido a que no es un material in situ.

Una vez completada la extracción de la muestra, debe ensacarse inmediatamente asignándole, para su identificación, el número correlativo de muestreo que corresponda. El saco (bolsa plástica) debe quedar bien sellado. Se debe identificar la bolsa o saco con tinta indeleble (plumón), siguiendo el orden según fue extraída con la siguiente información:

- Número de muestra correlativo: Dependiendo en el stock que fue extraída se continuará con el orden o numeración que le corresponda.
  - Sector del que proviene la ruma/pila:
  - Tonelaje aproximado que representa.
  - Turno en que fue muestreada.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

### **3.2.2.2.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA**

Dejar materializado en el punto de muestreo, una señal que indique a lo menos el N° de muestra (una tablilla), asegurándose que sea capaz de permanecer en dicho punto.

Para la toma de muestras siguientes (en la misma marina), repetir el procedimiento a partir del punto 3.2.2.2.4. Respetando de sacar las muestras en forma paralela a la dirección ya elegida para el muestreo (Figura N° 21)



**Foto 25.** Vista frontal de la pila de una Trinchera-calicata.

Al finalizar la labor, los muestreros se retiran de la zona de trabajo asegurándose de contar con todo el equipo de muestreo, ya que es de responsabilidad exclusiva de ellos la manutención y cuidado de todos los implementos de edición, materiales, equipos de protección personal, en general, todo cargo que se entrega para la operación de muestreo.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

#### **3.2.2.4. MUESTREO DE DETRITOS.**

Este muestreo fue ideado con el objetivo de obtener resultados representativos de las diferentes muestras tomadas en los sondajes por aire reverso, con el fin de aumentar las reservas de nuevos recursos de caliza, así como determinar la calidad de la roca en los niveles superiores desde el 430 hasta el 520 de las diferentes zonas de explotación del tajo.

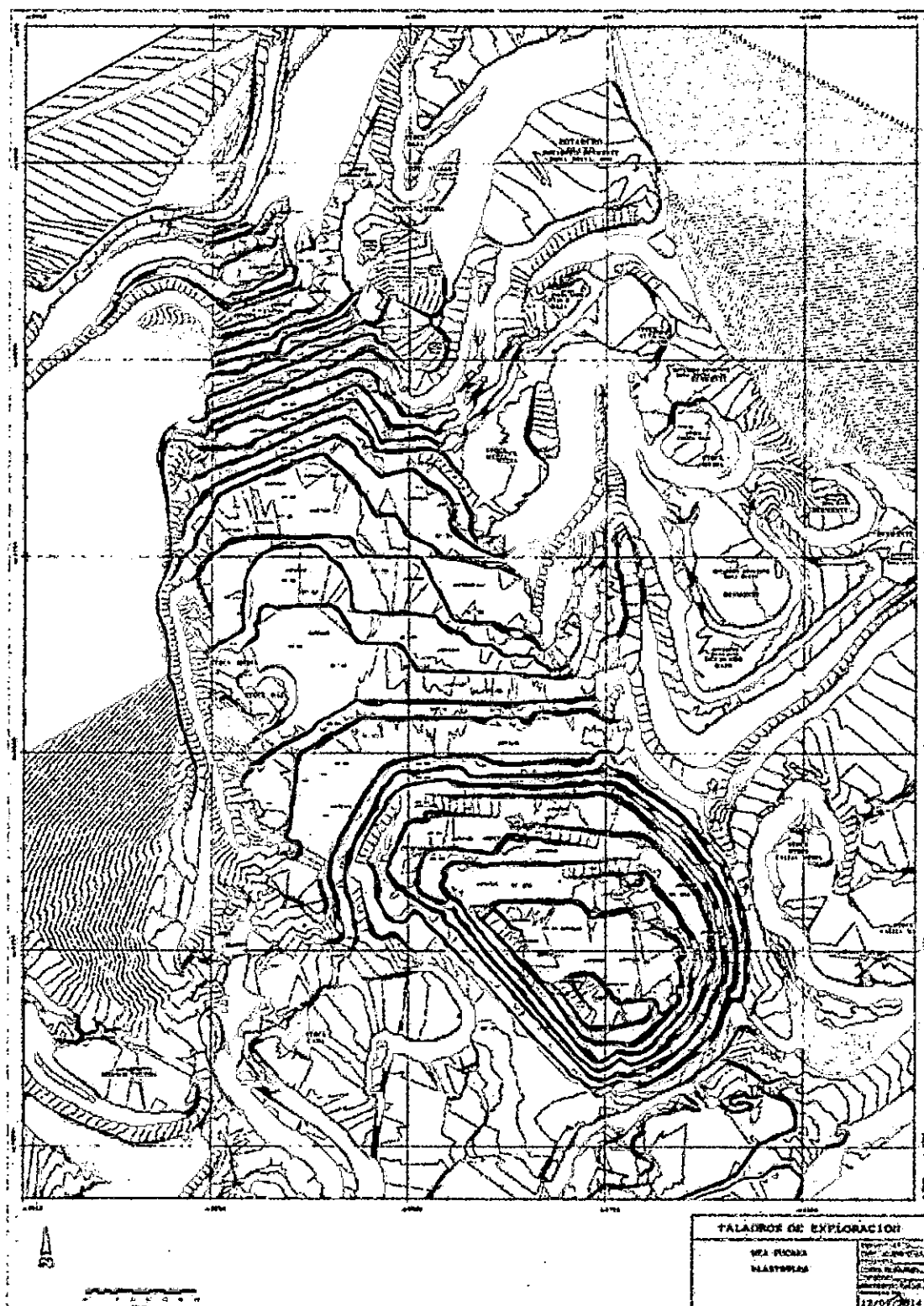
##### **3.2.2.4.1. DISEÑO DE MALLA EN GABINETE:**

La malla para el muestreo fue en forma aleatoria. Para determinar la ubicación de los sondajes se consideraron las zonas en las que estuvo expuesto el recurso no metálico caliza y zonas en las que se observó contactos geológicos entre calizas y margas, excepto en material cuaternario; así mismo se utilizó de sondajes diamantinos preexistentes de estudios geológicos de años anteriores 1999 y 2012, siendo ubicados los sondajes en forma aleatoria a lo largo de los niveles superiores del tajo (430 al 520).

A continuación se muestra el plano con los diferentes sondajes:

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



Plano N° 12. Ubicación de perforación por aire reverso



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

### 3.2.2.4.2. SEÑALIZACIÓN DE MALLA EN CAMPO

En base a la malla de perforación programada en gabinete, los diferentes sondajes fueron ubicados de acuerdo a las coordenadas obtenidas a partir del Software Vulcan 8.1 en los niveles 430, 440, 450, 460, 470, 480, 490, 500, 510 y 520. A continuación se indica la ubicación en coordenadas de los diferentes sondajes:

<b>Cod. Muestra</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>	<b>PROFUNDIDAD(m)</b>
14PUC01	303736.531	8648187.855	210	25
14PUC02	303691.551	8648209.365	220	25
14PUC03	303685.99	8648248.354	220	25
14PUC04	303723.835	8648236.237	220	25
14PUC05	303766.199	8648199.588	220	25
14PUC06	303768.136	8648237.31	220	25
14PUC07	303835.26	8648252.741	220	25
14PUC08	303628.719	8648293.429	220	25
14PUC09	303638.176	8648260.785	220	25
14PUC10	303695.684	8648277.534	220	25
14PUC11	303575.648	8648303.043	230	25
14PUC12	303587.584	8648333.528	230	25
14PUC13	303745.368	8648320.609	230	25
14PUC14	303662.818	8648375.616	240	25
14PUC15	303839.074	8648332.222	240	25
14PUC16	303871.532	8648272.561	240	25
14PUC17	303838.941	8648168.567	240	25
14PUC18	303791.076	8648380.632	240	25
14PUC19	303673.469	8648189.861	240	25
14PUC20	303677.076	8648428.265	250	25
14PUC21	303555.435	8648390.326	250	25
14PUC22	303508.798	8648370.874	250	25

**Tabla 07.** Relación de coordenadas de sondajes de perforación por aire reverso (del 1 al 22), año 2014.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

<b>Cod. Muestra</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>	<b>PROFUNDIDAD(m)</b>
14PUC23	303467.096	8648363.446	260	25
14PUC24	303510.119	8648432.489	260	25
14PUC25	303400.781	8648430.925	290	25
14PUC26	303612.559	8648511.638	290	25
14PUC27	303545.213	8648586.661	310	25
14PUC28	303537.57	8648630.804	310	25
14PUC29	303373.159	8648652.079	320	25
14PUC30	303557.821	8648713.58	340	25
14PUC31	303492.974	8648721.105	330	25
14PUC32	303343.372	8648731.363	320	25
14PUC33	303261.529	8648782.517	340	25
14PUC34	303302.254	8648792.004	340	25
14PUC35	303373.503	8648807.218	340	25
14PUC36	303316.63	8648840.992	340	25
14PUC37	303366.392	8648851.142	340	25
14PUC38	303495.431	8648822.54	350	25
14PUC39	303537.441	8648815.695	350	25
14PUC40	303445.597	8648888.653	360	25
14PUC41	303379.13	8648899.765	360	25
14PUC42	303299.621	8648908.766	380	25
14PUC43	303364.285	8648930.429	380	25
14PUC44	303402.143	8648948.648	380	25

**Tabla 08.** Relación de coordenadas de sondajes de perforación por aire reverso (del 23 al 44), año 2014.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

<b>Cod. Muestra</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>	<b>PROFUNDIDAD(m)</b>
14PUC45	303433.712	8648958.825	380	25
14PUC46	303312.127	8648970.616	410	25
14PUC47	303347.247	8648984.381	410	25
14PUC48	303385.682	8648997.036	410	25
14PUC49	303433.789	8649013.309	410	25
14PUC50	303281.519	8648975.494	420	25
14PUC51	303371.372	8649016.1	420	25
14PUC52	303348.747	8649021.269	430	25
14PUC53	303384.963	8649034.345	430	25
14PUC54	303276.547	8649055.515	460	25
14PUC55	303323.826	8649068.71	460	25
14PUC56	303372.769	8649085.218	460	25
14PUC57	303284.875	8649079.823	470	25
14PUC58	303382.29	8649106.851	460	25
14PUC59	303384.488	8649137.411	460	25
14PUC60	303408.941	8649232.341	460	25
14PUC61	303296.26	8649116.01	490	25
14PUC62	303325.104	8649118.357	490	25
14PUC63	303337.395	8649186.053	500	25
14PUC64	303487.287	8649376.435	450	25

**Tabla 09.** Relación de coordenadas de sondajes de perforación por aire reverso (del 45 al 64), año 2014

### 3.2.2.4.3. HOMOGENIZACIÓN DE MATERIAL:

En base a los previos diseños de la malla en campo, la perforadora EP-17 perforó 57 taladros en total, de los cuales se han procesado 210 muestras en laboratorio que corresponden a 52 sondajes. Las muestras correspondientes a los 5 taladros faltantes no se enviaron a laboratorio porque correspondían a zona de relleno en los niveles 440, 450 y 460. El personal de muestreo y el suministro de materiales para la perforación tales como maquinaria para traslado de perforadora, combustible, etc

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

fueron de responsabilidad de la empresa contratista San Martín. El muestreo empleado fue aleatorio por el método de muestreo geológico de detritus de blastholes, las muestras se tomaron cada 5 metros en una longitud aproximada de 25 metros por cada taladro.



**Foto 26.** Detritus de taladro 14PUC30.



**Foto 27.** Material antes para homogenizar.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

#### **3.2.2.4.4. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS:**

**a) Número de Personas:** Dos (2) muestreros.

**b) Equipo de Protección Personal Obligatorio(EPP):**

- Casco.
- Guantes.
- Taponeras u orejeras.
- Un par de lentes de seguridad normales.
- Zapatos de seguridad.
- Protector respiratorio.

**c) Equipos y Herramientas a Usar**

- Recibidor de muestra (manta de teflón).
- Pintura spray.
- Sacos (bolsa plástica de alta densidad).
- Talonario de muestreo (correlativo).
- Corchetera de muestreo (corchete grueso).
- Talonario de informe (Report) de muestreo.
- Lápices de pasta y mina.
- Cuñas manuales "combo" o "macho" de 4 libras.
- Una pala punta de huevo o especial.
- Perforadora EP-17

**d) Etapas Básicas del Trabajo:**

**Recepción y revisión de equipos y herramientas.**

- Verificar que la pala se encuentre en buenas condiciones.
- Revisar que los EPP estén en buenas condiciones para el trabajo, tanto en fecha de vencimiento como en su estado físico.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

- Verificar que las cuñas se encuentren en buen estado, tanto punta como culatín.
- Antes de cada labor diaria, revisión técnica de perforadora.

**Operación de muestreo:**

- Asegurar que todo el material esté previamente homogenizado.
- Marcar los puntos a perforar por nivel de acuerdo a coordenadas.

**Dimensiones de la malla:**

Las porciones de muestra serán tomadas al final de la perforación de cada 5 metros. Cada ruma o pila formada fue de 237.15Kg por lo que se tomaron 4 muestras de 10 kilos; las cuales se homogenizaron en un solo grupo, después se dividió en 4 partes iguales de 10 kilos cada uno, se eliminaron dos de las partes diagonalmente opuestas. Se mezcló el material restante y se volvió a formar una nueva pila de 20 kilos, se prosiguió con el mismo cuarteo, para finalmente obtener una muestra representativa de 10Kg.

Una vez completada la extracción de la muestra, debe ensacarse inmediatamente asignándole, para su identificación, el número correlativo de muestreo que corresponde a "14PUC01" por ser la muestra de la perforación. El saco (bolsa plástica) debe quedar bien sellado.

Para la toma de muestras siguientes (en los diferentes niveles del tajo principal), se repitió el procedimiento considerando lo indicado líneas

**TESIS:**

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

arriba, respetando de sacar las muestras correspondientes de cada taladro y dándoles la numeración correspondiente.

**e) Preparación de muestra:** Se debe identificar la bolsa o saco con tinta indeleble (plumón), siguiendo el orden según fue extraída.

- Rótulo de muestra correlativo: se indicó el número final del año, después, se asignó la abreviatura del nombre del tajo Pucará y finalmente el número que corresponde, tal y como se indica en el siguiente ejemplo:

**14PUC01**

Del cual: 14=año de extracción 2014, PUC=Yacimiento Pucará y 01=Número de muestra de cada taladro. Y así sucesivamente se continuó con el orden correlativo de todas las muestras.

- Tonelaje aproximado que representa.
- Turno en que fue muestreada.

### **3.2.2.1.5. DELIMITACIÓN DEL ÁREA MUESTREADA**

Posterior a los trabajos de perforación, se dejó materializado el sondaje con el código correspondiente; esta codificación se hizo con un espray sobre una roca de caliza. Al confeccionar el plano este contará con lo siguiente:

- Esquema de la cancha.
- La orientación del plano respecto al norte.
- La ubicación de las muestras.
- En lo posible, en escala 1:250.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**a) Retiro del sector de muestreo.**

Se aseguró de contar con todo el equipo de muestreo, ya que es de responsabilidad exclusiva de los muestreros la manutención y cuidado de todos los implementos de edición, materiales, equipos de protección personal, en general, todo cargo que se entrega para la operación de muestreo.

**3.2.3. PREPARACION DE MUESTRAS Y ENVÍO DE LABORATORIO**

Para que un material pueda ser utilizado en el laboratorio de análisis deberá ser preparado de manera apropiada, esto con el fin de que los resultados obtenidos sean representativos del total y puedan ser utilizados de manera confiable para la formulación del alimento o para la valoración del mismo, para lo cual se hacen las siguientes recomendaciones:

- a. Después de emplear los diferentes tipos de muestreo geológico, la muestra de campo deberá colocarse sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber perdida de material ni contaminación con materias extrañas.
- b. Se homogenizará el material traspapelando toda la muestra y acomodándolo en una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior. •
- c. Por medio de la pala, ejerce presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta que obtener un espesor y un diámetro uniformes. El diámetro obtenido deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material.
- d. La cantidad de material debe ser de 15 a 20Kg para realizar todos los análisis necesarios; debe ser una muestra homogénea y representativa.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- e. El manejo de la muestra debe ser cuidadoso para evitar cualquier cambio o contaminación. Deberá ser colocada en un bolsa de propi etileno
- f. Las muestras a enviar a laboratorio son registradas e ingresadas por sus diferentes códigos asignados en campo en un memorándum establecido por el Sistema Integrado de Gestión de UNACEM S.A.A.
- g. Si la muestra contiene mucha humedad y la preparación del material no puede hacerse sin cambios significativos en ésta, determine la humedad antes y después de la preparación.
- h. La muestra deberá molerse finamente, tamizarse y mezclarse homogéneamente. Esta operación debe hacerse rápidamente y con la mínima exposición al medio ambiente. Evite su sobrecalentamiento durante el molido, por lo cual materiales sensibles al calor deberán ser molidos a mano. Antes de usar el molino asegúrese de que está perfectamente limpio.
- i. Se recomienda un examen físico macro y microscópico para detectar la presencia de materiales contaminantes.
- j. Mezcle la muestra perfectamente y divídala en dos partes iguales. De ser necesario haga un molido preliminar para facilitar esta operación. Almacene una de las partes en un frasco hermético, limpio y seco; la otra parte será usada en los análisis y su tamaño deberá ser adecuado para la totalidad de las pruebas requeridas.
- k. Al menos que el método de análisis indique lo contrario, los materiales serán molidos de inmediato y pasados por una malla de 1 mm<sup>2</sup>; mezcle perfectamente la muestra tamizada y almacénela en un recipiente hermético. Antes de tomar material para cada análisis mézclese nuevamente.
- l. Al menos que se señale lo contrario, las muestras húmedas deberán secarse para su molido y tamizado, siguiendo las indicaciones del punto anterior.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

m. Las muestras líquidas y semilíquidas deberán conservarse en frascos tapados y mezclarse perfectamente antes de su análisis.

n. Los materiales deberán conservarse en refrigeración o a temperaturas que eviten cambios en su composición. Muestras para análisis de vitaminas u otras sustancias sensibles a la luz se colocarán en recipientes de vidrio color ámbar.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

## **CAPÍTULO IV : ESTUDIO GEOQUÍMICO Y DISEÑO DE MEZCLA**

### **4.1. ZONIFICACION GEOQUIMICA DEL YACIMIENTO**

#### **4.1.1. ZONIFICACIÓN CON LA VARIABLE CAO**

##### **4.1.1.1. ZONIFICACION EN SUPERFICIE:**

La evaluación superficial del óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) se determinó con el plano geológico actual de la superficie del tajo y con los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas en superficie considerándose como caliza los materiales que contienen desde 37% hasta 48% de  $\text{CaO}$ ; los valores mínimos a estos parámetros se les ha considerado como caliza marginal y estéril. La distribución espacial o zonificación de los diferentes tipos de caliza están representadas en el plano N° 13.

De acuerdo a la distribución del óxido de calcio en el plano de zonificación, la caliza de alta, media y baja calidad en superficie cubre aproximadamente el 60% del área que abarca desde el nivel 430 hasta el nivel 530.

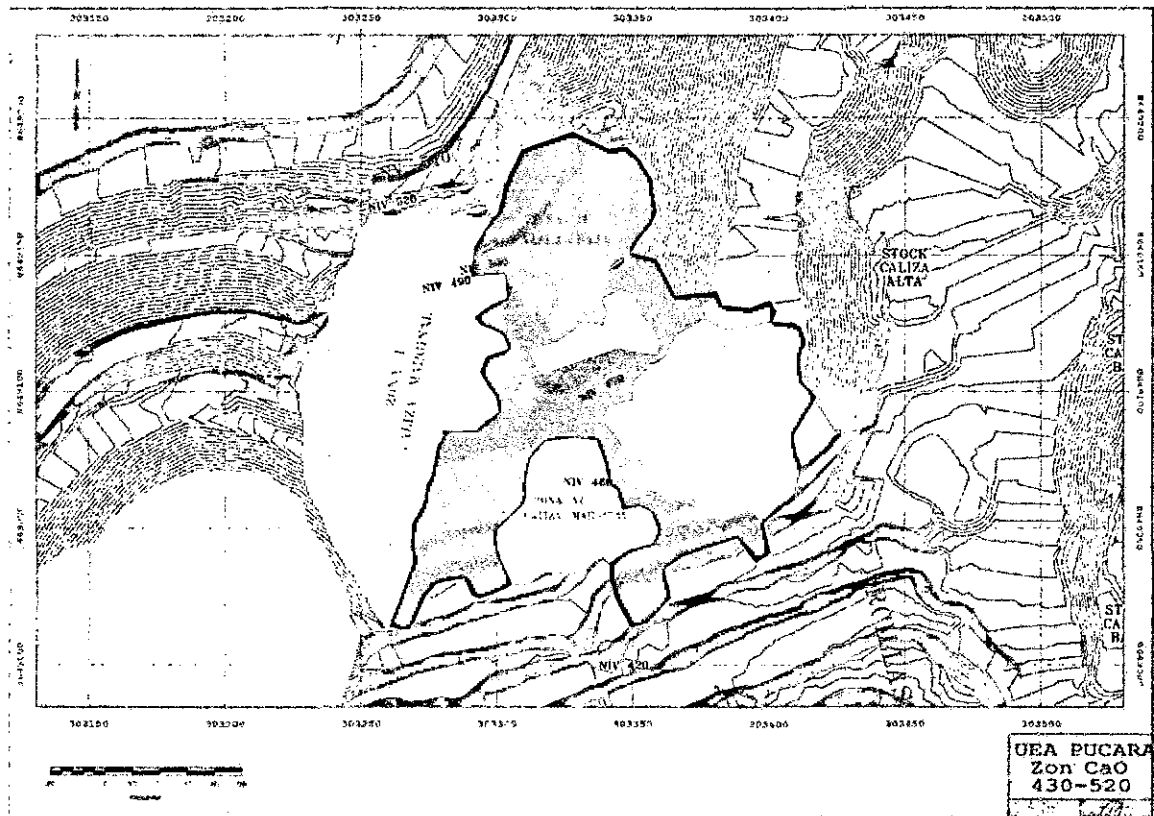
De acuerdo al mapeo geológico y modelo de bloques, la caliza de alta calidad se ubica hacia el extremo Sur Este del cuerpo de caliza, distribuido aisladamente en toda la zona norte del tajo. Así mismo los materiales cercanos a los diques andesíticos, presentan un decremento significativo del  $\text{CaO}$ , considerándose como caliza estéril.

Hacia el Nor-Oeste del cuerpo de caliza, entre el contacto de la formación Atocongo y formación Pamplona existe una faja de caliza marginal y estéril de aproximadamente 160 m de largo por 60 m de ancho, en la que su bajo contenido de  $\text{CaO}$  puede deberse a la existencia de materiales arcillosos provenientes de la lutita, originando en el cuerpo un alto contenido de trióxido de aluminio. En la parte central y ligeramente hacia el sur de la formación Atocongo en el cuerpo de caliza, se encuentra una pequeña área

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

con contenido de caliza marginal, anomalía que podría deberse a la presencia de cuerpos intrusivos cercanos.



**Plano N°13.** Zonificación de acuerdo a la calidad de la caliza.

**4.1.1.2. ZONIFICACION EN PROFUNDIDAD**

La calidad del yacimiento bajo superficie se determinó a través de la interpretación geológica de los sondajes diamantinos y de los resultados de los análisis químicos efectuados en muestras tomadas de los testigos y muestras pulverizadas de perforación. El resultado de la evaluación se presenta en 3 perfiles transversales del modelo del cuerpo de caliza perteneciente a la formación Atocongo.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

De acuerdo con estos perfiles, la calidad de la caliza del tajo de Pucará es heterogénea, donde intercalan los 5 tipos de caliza con una ligera predominancia de los tipos de caliza de alta y media calidad.

De los perfiles también se puede sacar las conclusiones siguientes:

- En el sector derecho, sección A-A', la caliza es de una calidad ligeramente mejor, indicando que el cuerpo tiende a aumentar en tamaño y calidad hacia el sur oeste. Por lo que se recomienda se programen por lo menos dos taladros de perforación diamantina con una profundidad mínima de 100 metros.
- La calidad de la caliza disminuye hacia el oeste en donde se encuentra el contacto la formación Atocongo y la formación Pamplona, predominando la caliza marginal y estéril.

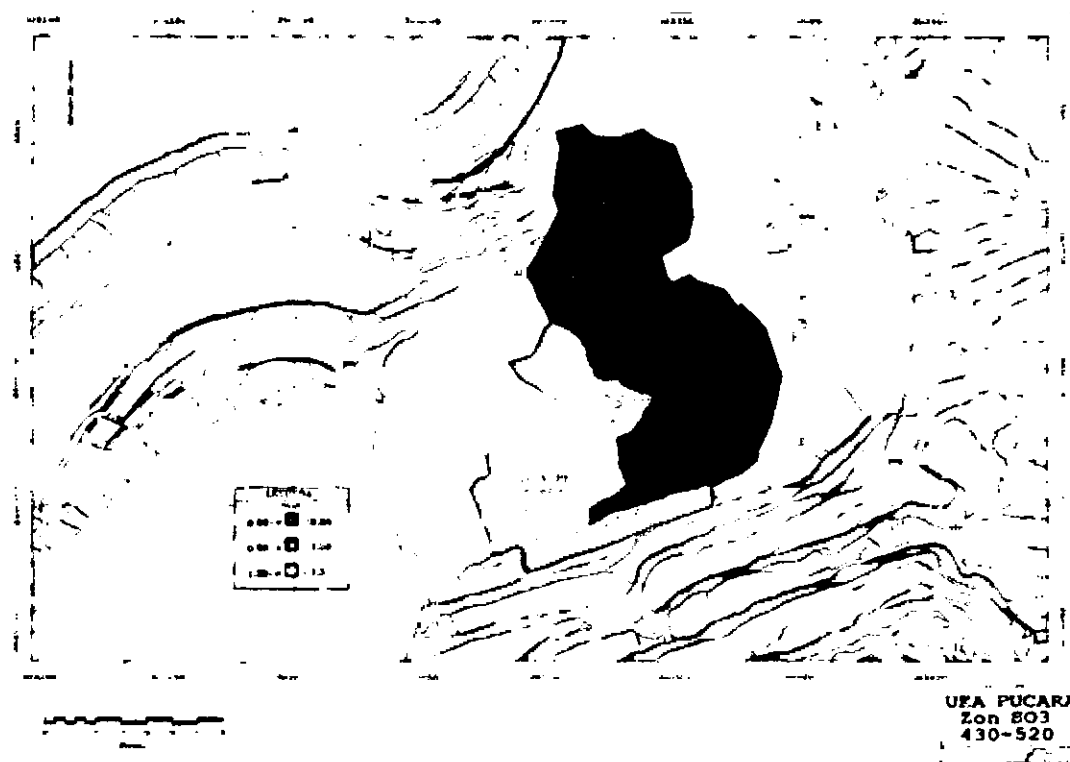
#### **4.1.2. ZONIFICACIÓN CON LA VARIABLE SO<sub>3</sub>**

##### **4.1.2.1. ZONIFICACION EN SUPERFICIE**

El contenido de SO<sub>3</sub> es casi uniforme. De acuerdo al plano de zonificación algunas muestras aisladas de caliza presentan valores porcentuales del trióxido de azufre que están en el rango de bajos, medios y altos. Cabe mencionar que se ha considerado como alto contenido de SO<sub>3</sub> a las muestras que presenten valores entre los rangos de 1.2% a 1.5%, como medio entre el rango 0.8% a 1.2% y como bajo entre el rango de 0.00 a 0.8. Por lo que se puede concluir que el 70% del área superficial del SO<sub>3</sub> que se encuentra en los niveles superiores (Nivel 430 al Nivel 520) es de valores medios y bajos.

**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**



**Plano N°14.** Zonificación del SO3 de acuerdo a la calidad de la caliza.

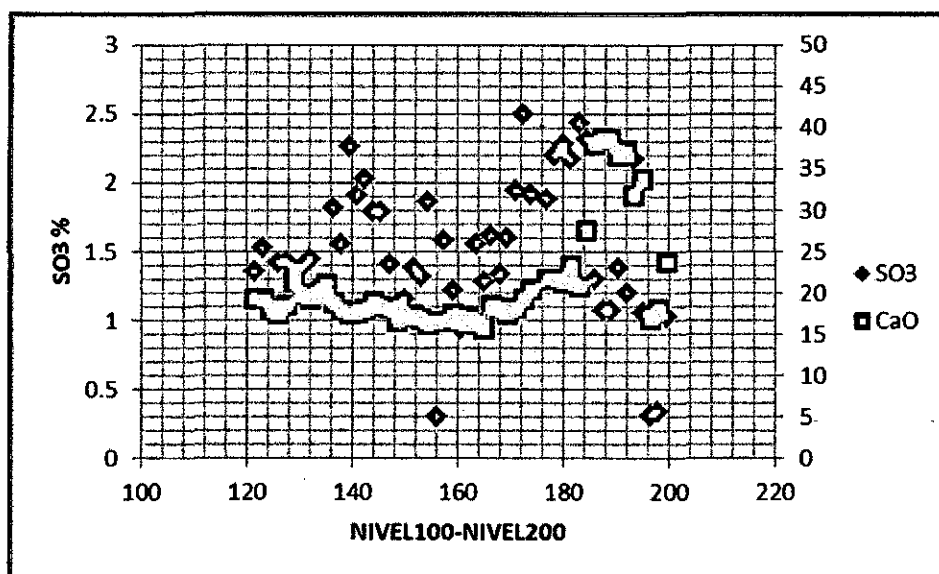
De acuerdo al plano de zonificación, el trióxido de azufre presenta valores entre 1.20% y 1.5% en la zona de contacto entre la formación Pamplona y formación Atocongo, precisamente en la faja de caliza marginal y estéril. En cambio las concentraciones de SO3 son bajas en la formación Atocongo ya que presenta valores entre 0.00% al 1.20%.

#### **4.1.2.2. ZONIFICACION EN PROFUNDIDAD**

La caliza en profundidad tiene alto contenido de trióxido de azufre en halos cercanos a la formación Atocongo, y los valores están predominantemente en el rango de caliza marginal y estéril. En cambio en zonas cercanas a superficie hay aumento de óxido de fierro y disminución de SO3, mayormente cuando el óxido de calcio es menor a 36%.

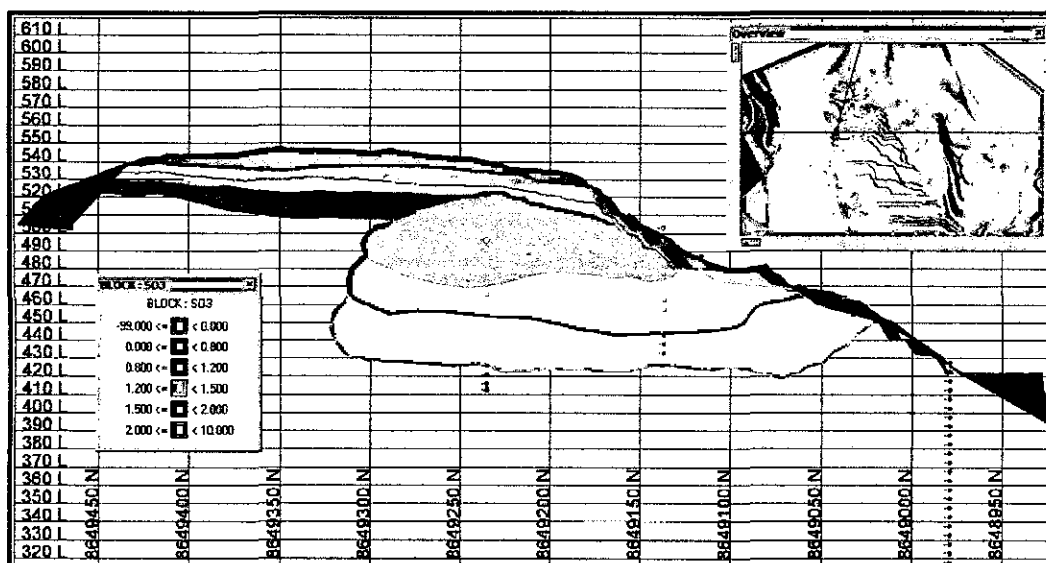
TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Grafica 01.** Dispersión del CaO y el SO<sub>3</sub> de acuerdo a su ubicación espacial.

En este cuadro Geoestadístico se indica la relación entre el trióxido de calcio versus el trióxido de azufre en los niveles 100 y 200 del tajo.

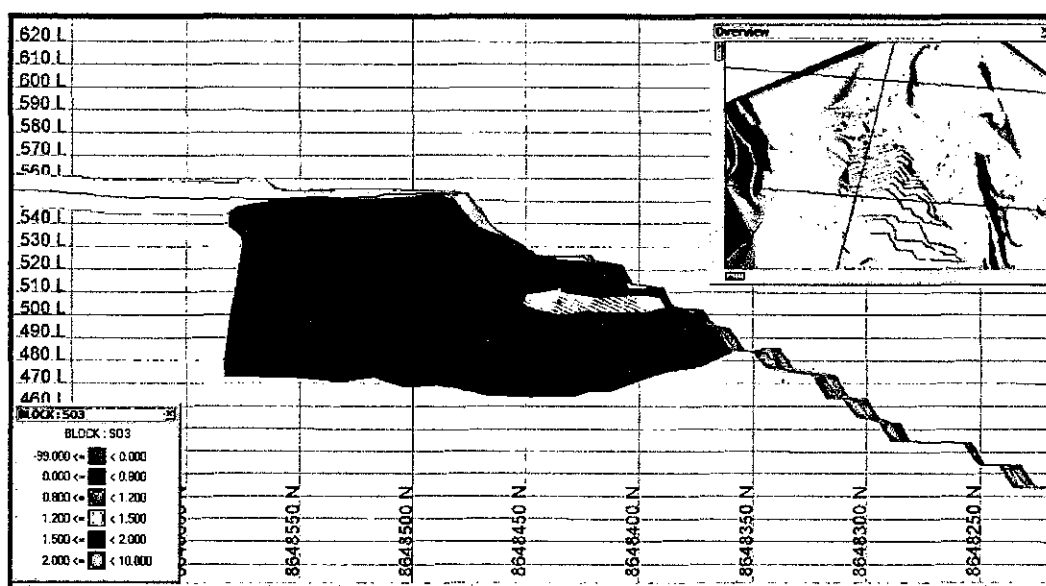


**Sección 04.** Concentración de SO<sub>3</sub> entre los niveles 420 y 530.

#### TESIS:

#### OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Entre los niveles 480 y 520 el  $\text{SO}_3$  es bajo en la zona de contacto entre la formación Atocongo y Pamplona. Desde el nivel 430 al nivel 460 el trióxido de azufre tiende a disminuir ya que a profundidad el cuerpo de caliza de la formación Atocongo tiende aumentar hacia el sur-Oeste, y la Formación Pamplona tiene a perder volumen.



**Sección 05.** Concentración de  $\text{SO}_3$  entre los niveles 460 y 530.

En la zona de la formación Atocongo hacia el Sur-Oeste, desde la superficie hacia el nivel 460 el azufre presenta valores entre 0.00% y 0.8%.

#### 4.1.3. ZONIFICACIÓN CON LA VARIABLE $\text{Al}_2\text{O}_3$

##### 4.1.3.1. ZONIFICACION EN SUPERFICIE

De acuerdo a la distribución del Trióxido de aluminio en el plano de zonificación, el alto contenido de alúmina está representado por un 70% del área que abarca desde el nivel 430 hasta el nivel 530. El 30% representa



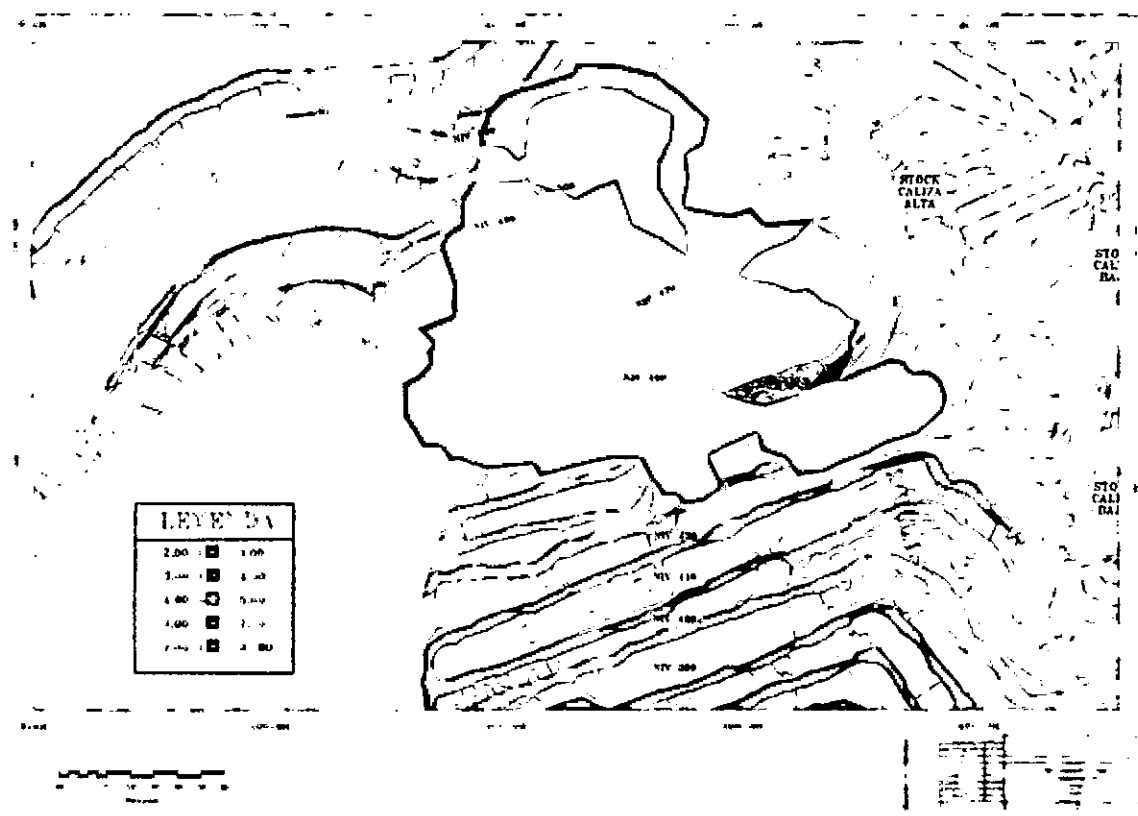
**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

alúmina con valores bajos a medios. Tal y como se muestra a detalle en la siguiente tabla:

Trióxido de Aluminio	Leyes (%)	% en Superficie
Alto	5-20	70
Medio	4-5	17
Bajo	3-4	10
Muy Bajo	2-3	3

**Tabla 10:** Distribución de los diferentes tipos de aluminio de acuerdo al porcentaje del área.



**Plano N°15.** Zonificación del  $Al_2O_3$  de acuerdo a la calidad de la caliza.

#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

La caliza con alto y bajo contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  predomina en superficie. Algunas muestras distribuidas aisladamente han dado valores de alúmina menores al 3%, las cuales corresponden a calizas de alta calidad. Por lo que se concluye que la caliza marginal y estéril en el yacimiento Pucará tiene alta alúmina y a su vez contiene alta concentración de sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

#### 4.1.3.2. ZONIFICACION EN PROFUNDIDAD

En profundidad, el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tiende a aumentar y disminuir, dependiendo en tipo de roca en que esté contenido. Entre los niveles 430 y 490, para calizas con concentración de CaO mayor a 44% los valores porcentuales para la alúmina varía entre 2.49% y 3.93%; en cambio para calizas con concentración de CaO entre el rango de 41% y 44%, tiende a variar entre 4.14% y 5.56%; y para calizas que presentan leyes variables de CaO con un valor máximo de 41% y un valor mínimo de 36% la concentración de alúmina tiende a presentar valores muy altos entre 5.87% y 8.59%. Por ende, la concentración del trióxido de aluminio es inversamente proporcional a la concentración del CaO en las calizas de los niveles superiores del tajo (430 al 490), ya que a medida que disminuye el CaO, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tiende a aumentar, disminuyendo la calidad de roca, pasando de calidad alta a baja.

#### 4.2. INTERPRETACIÓN DE SONDAJES

Para determinar los principales óxidos contenidos en la caliza se ha realizado un ensayo de Difracción de Rayos X; a partir de los resultados de este tipo de análisis químico se ha interpretado la distribución del CaO a profundidad y el tipo de caliza; la descripción litológica no se ha detallado por lo mismo que no se contaba con testigos de perforación en físico, ya que el material obtenido tenía forma de detritus con diámetros menores a 5mm. De acuerdo

#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

con los resultados, sus leyes del óxido de calcio varían entre 13.5% y 49%. Es por eso que para la clasificación se ha considerado como calizas a las muestras que tenían resultados mayores al 32% de óxido de calcio y para material estéril a valores inferiores al 32%, ya que por el tipo de yacimiento no metálico que existe en Pucará, podría tratarse de lutitas calcáreas, margas, diques andesíticos con alto óxido de calcio por posible alto contenido de calcita en venillas, etc.

### **4.3. MODELAMIENTO GEOLÓGICO**

Es importante el modelamiento geológico tridimensional porque es una parte fundamental en el procedimiento de estimación de reservas de un depósito.

Para su construcción se utilizó la interpretación de las secciones transversales y longitudinales al desplegar la base de datos de los sondeos diamantinos y por aire reverso en los niveles superiores del tajo de Pucará.

#### **4.3.1. DATOS UTILIZADOS:**

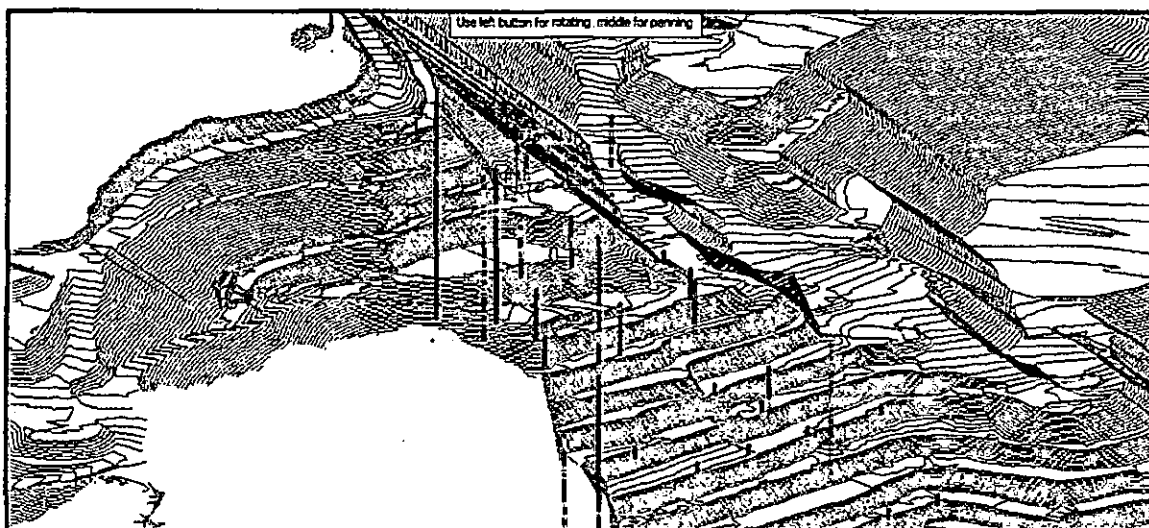
Para este proyecto se consideró la data de 3 sondeos diamantinos hechos en el año 2012 y otros 2 del año 1999 ambos con una suma total de longitudes de 288.65 metros en testigos. También, se utilizaron 16 sondeos de perforación por aire reverso con una longitud promedio de 25 metros cada uno; obteniéndose resultados de 245 metros muestreados y analizados químicamente.

Además se ha utilizado el mapeo superficial y topografía actualizada de fecha 16 de febrero del 2015.

A continuación se muestra la representación gráfica de los sondeos diamantinos y convencionales empleados en el modelamiento.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**



**Figura 23.** Sondajes diamantinos: Los intervalos en rojo, magenta y azul representan la unidad a modelar. Se generan puntos con valores positivos (dentro de la unidad a modelar); valores cero (contacto); y valores negativos (fuera de la unidad).

#### **4.3.2. SECUENCIA DE MODELAMIENTO:**

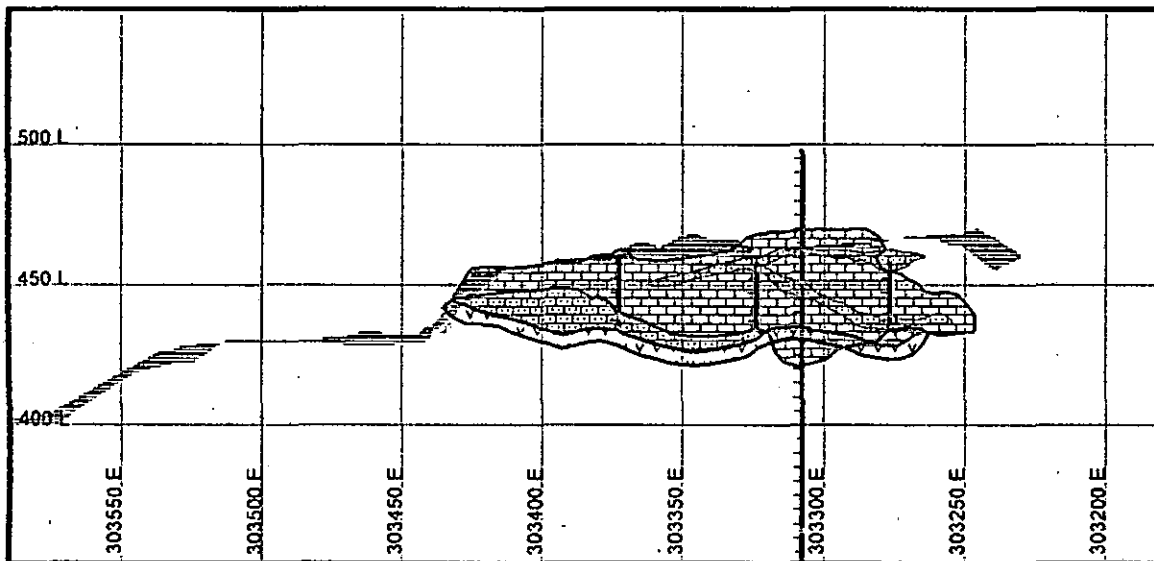
Adicionalmente, fueron interpretadas 10 secciones bidimensionales verticales con un azimut de  $90^\circ$  equidistantes a 15mts con la finalidad de cortar todo el cuerpo de caliza en forma perpendicular y en toda la extensión del modelo, así mismo determinar la morfología, mineralización y tipo de roca que conforman el macizo rocoso. Cada unidad ha sido modelada según la secuencia de emplazamiento de esta. Los sólidos finales no tienen espacios vacíos ni traslapes entre ellos y por último la validación de los sólidos incluye comparación contra el vecino más cercano, volúmenes del modelo previo. En total se han modelado 5 tipos de litología, las cuales corresponden a la formación Atocongo y formación Pamplona. Es importante mencionar que toda la base de datos ha sido compositada cada 5 metros, respetando el largo de los diferentes taladros con la información predominante de leyes.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Figura 24.** Compósitos: Los intervalos en rojo, magenta, amarillo, verde y azul representan los valores compositados cada 5 metros.

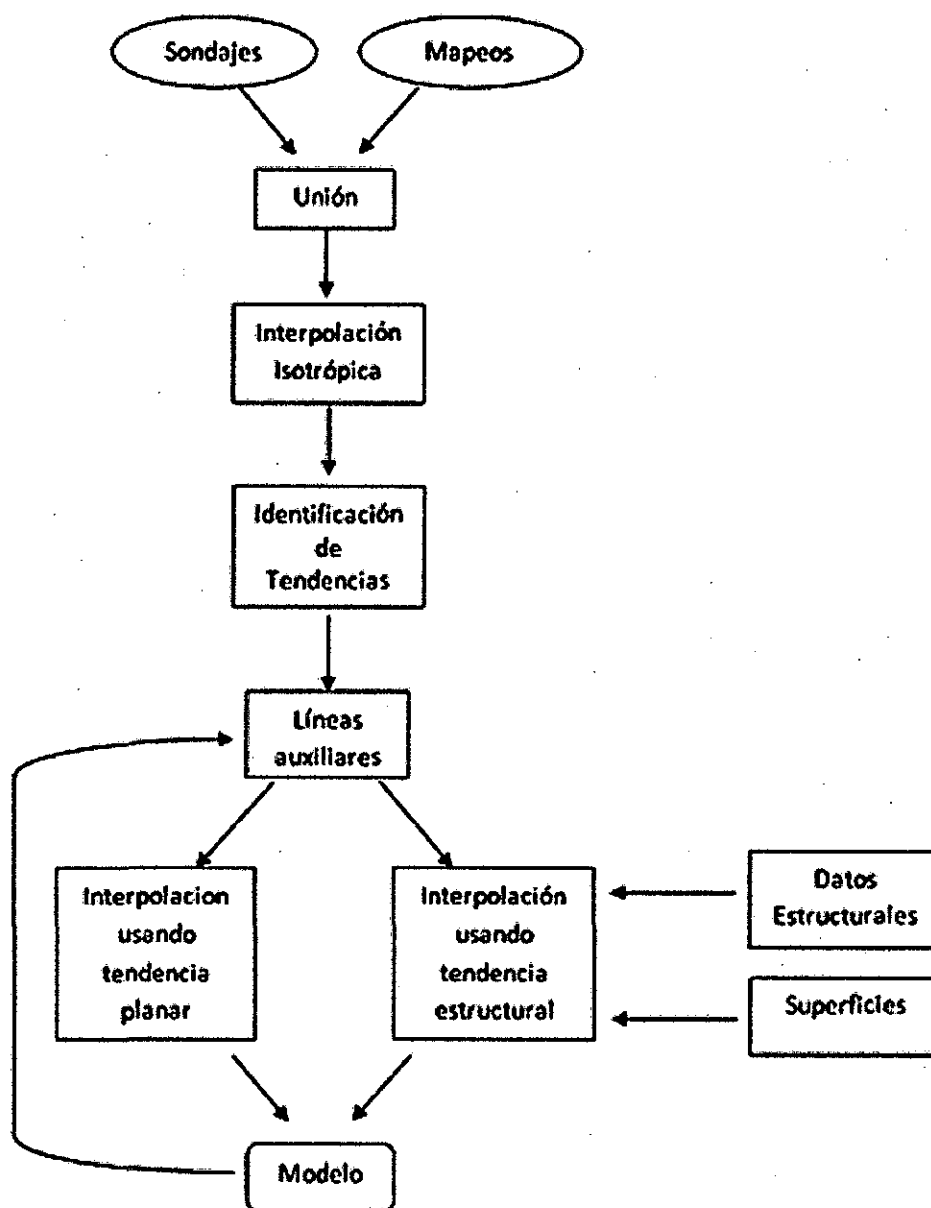


**Sección 6.** Sección interpretada y diseñada en base a sondajes diamantinos y convencionales. El color celeste nos indica la morfología del cuerpo de caliza.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

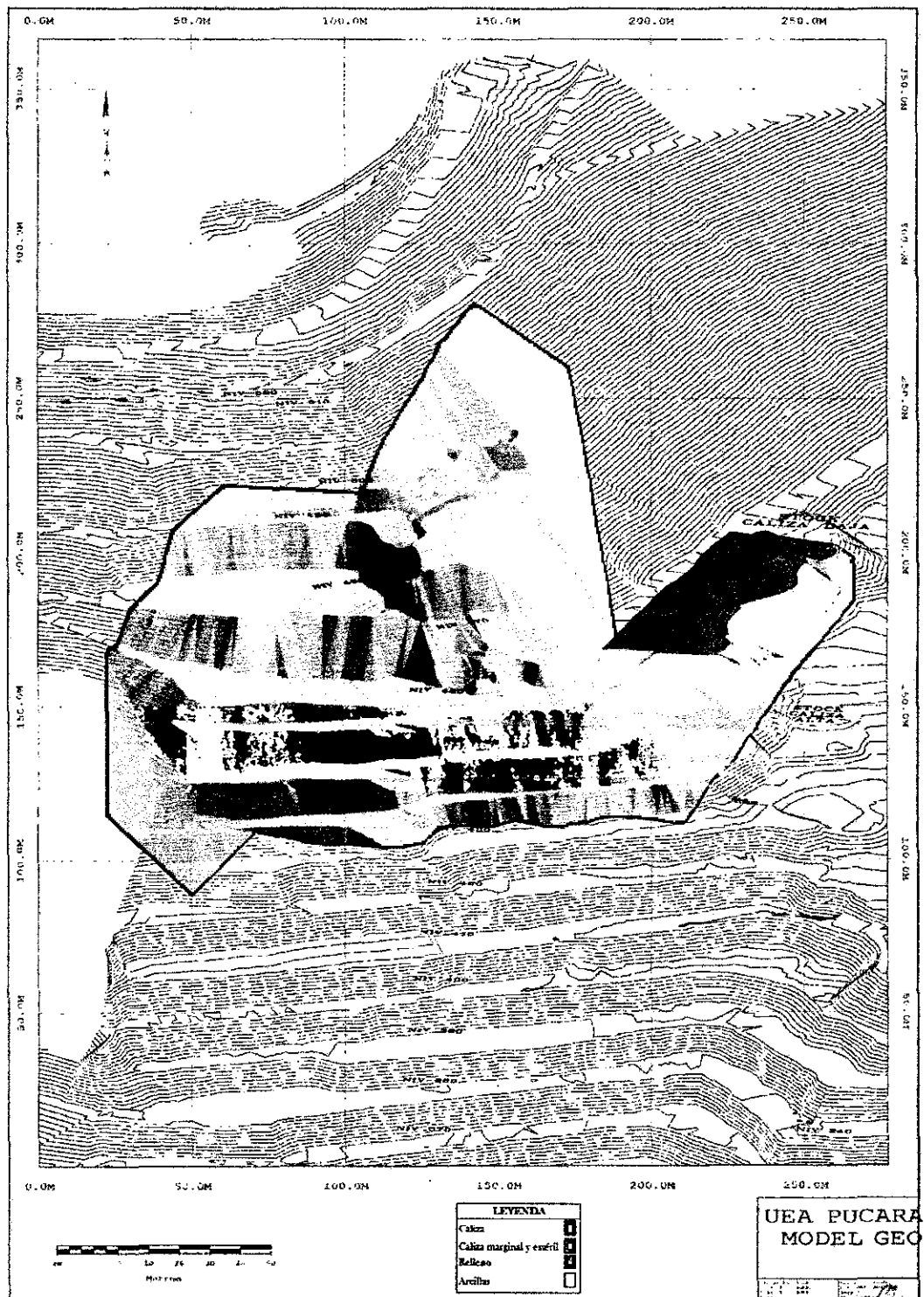
El flujograma empleado del trabajo del modelamiento ejecutado se resume en el siguiente esquema:



\*Fuente: Modelamiento Geológico implícito de Antamina.

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

En el siguiente plano se muestra el modelamiento tridimensional del  
macizo rocoso de Caliza:



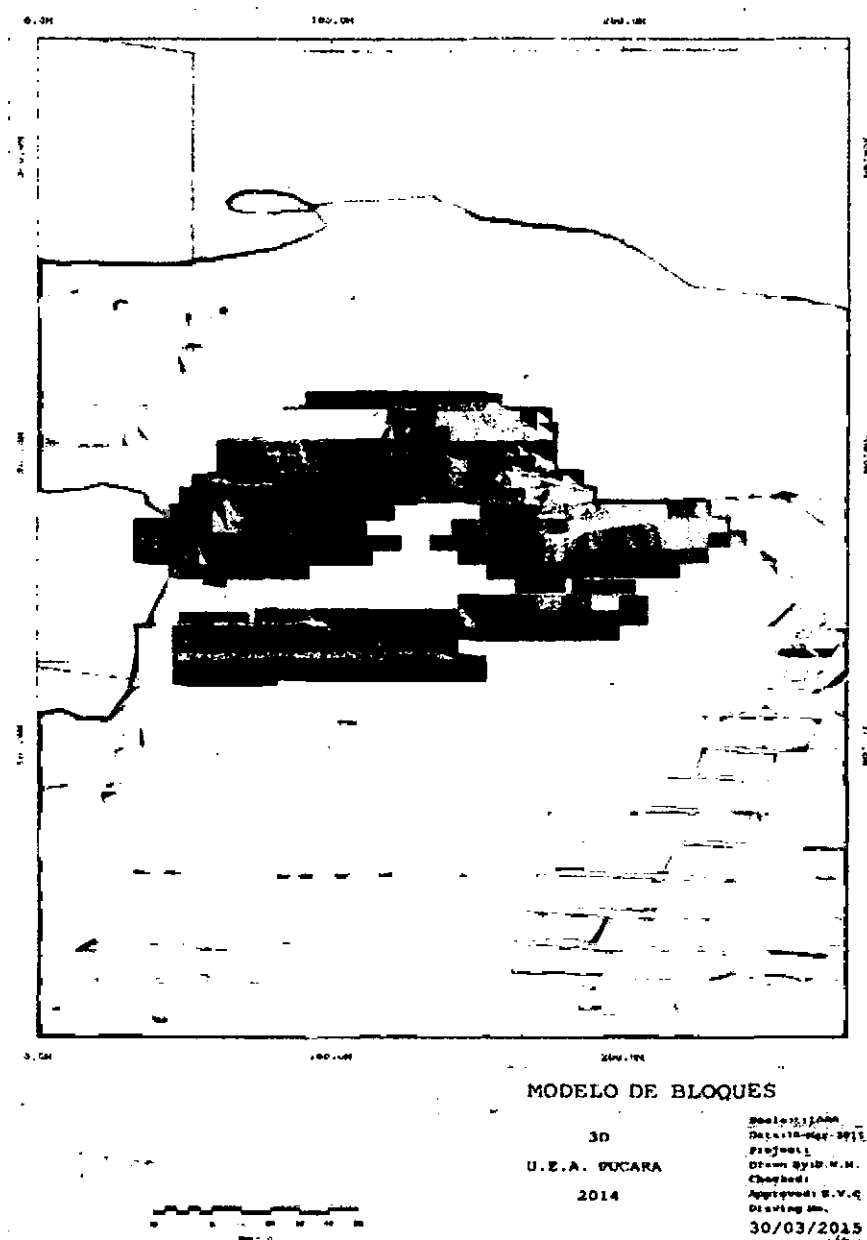
Plano N°16. Modelo geológico de los niveles 430 al 520.

#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

#### 4.4. ESTIMACIÓN DE RESERVAS:

Para la estimación de reservas de la parte superior del tajo que corresponde a los niveles desde el 430 al 520 se utilizó la información de sondajes denominada "crisondajes\_2014.son.isis" (formato Vulcan), la cual contiene información de 21 pozos distribuidos a lo largo de toda el área de estudio. Después se ha elaborado un modelo de bloques para poder estimar el volumen y tonelaje por el tipo de caliza predominante en la zona norte del tajo.



Plano N°17.  
Modelo de  
bloques  
tridimensional.



**TESIS:**

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Las unidades geológicas consideradas en la estimación de reservas son las que pertenecen a la formación Atocongo y parte de la formación Pamplona. Según el cálculo de reservas, obtenido del software minero "Vulcan" se ha estimado 909569.26Tn de reservas probadas de caliza, siendo de mayor predominancia la caliza bajo CaO. En la siguiente tabla se muestra los diferentes tonelajes de caliza de acuerdo a su tipo:

TIPO DE CALIZA	VOLUMEN TOTAL	TONELAJE	LEYES	TONELAJE TOTAL
ALTA	48973.02908	127329.8756	>44	909569.26
MEDIA	66782.44073	173634.3459	42-43.9	
BAJA	180003.8868	468010.1058	37-41.9	
MARGINAL	54074.97365	140594.9315	28-36.9	
ESTERIL O DESMONTE	963.4250355	2504.905092	<27.9	99465.90
	96960.994	96960.994	<27.9	

**Tabla 11.** Cuadro resumen de estimación de Reservas.

#### 4.5. ANALISIS DE MUESTRAS:

Para el análisis de muestras se ha empleado el Seguro de calidad / Control de calidad (QA/QC) Esta fase busca Identificar, minimizar y/o eliminar los errores inherentes en el proceso de obtención de la información primaria (recolección de muestras) y evaluar la limpieza, precisión y exactitud analítica del laboratorio que realiza los análisis de las muestras, para con esto tener un grado de fiabilidad de los resultados obtenidos. En resumen:

QA - Quality Assurance (Evitar Problemas): Todas aquellas acciones necesarias, planeadas o sistemáticas, para proveer confiabilidad adecuada en el proceso de recolección de datos y estimación de recursos.

QC - Quality Control (Detectar Problemas): Sistemas y mecanismos que aseguran la calidad.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

El control QA-QC aplicado evalúa resultados a partir de la obtención, inserción y análisis de muestras gemelas, muestras Estándar y muestras de tipo Blanco fino. Se procuró insertar las muestras de control especificadas en un porcentaje aproximado de entre el 15-20% de cada lote analizado. Existieron fechas en que solo se tenían dos muestras para analizar, pese a esto se insertó por lo menos una muestra de control, la cual representaba el 33.3% del total analizado.

De 271 muestras enviadas al laboratorio de la Empresa para preparación y análisis entre el 10 de Febrero del 2014 y el 10 de Setiembre del mismo año, 50 correspondieron a muestras de control, conformando el 18.45% del total señalado.

LOTE	TOTAL DE MUESTRAS	GEMELA	ESTANDAR	BLANCO	TOTAL DE MUESTRAS CONTROL
#1	5	1			1
#2	5		1		1
#3	6			1	1
#4	10	1	1		2
#5	10	1		1	2
#6	5		1		1
#7	3			1	1
#8	5	1			1
#9	5		1		1
#10	2			1	1
#11	3	1			1
#12	5		1		1
#13	5			1	1
#14	12	1	1		2
#15	8	1		1	2
#16	7		1		1
#17	5			1	1
#18	5	1			1
#19	12		1	1	2
#20	3	1			1
#21	8		1		1
#22	12		1	1	2
#23	9	1			1
#24	7			1	1
#25	14	1	1		2
#26	19	1	1	1	3
#27	7			1	1
#28	5	1			1
#29	5		1		1
#30	19	1	1	1	3
#31	5			1	1
#32	12	1	1		2
#33	5			1	1
#34	3	1			1
#35	3		1		1
#36	5			1	1
#37	12	1	1		2
<b>Total</b>	<b>271</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>50</b>
<b>% del Total</b>		<b>6.27%</b>	<b>6.27%</b>	<b>5.90%</b>	<b>18.45%</b>

**Tabla 12.** Detalle de muestras de control insertadas para cada lote.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

a) **Análisis de estándares:** Permiten conocer y asegurar la exactitud de los resultados enviados por el laboratorio. La exactitud mide cuan cercano es el valor de la medición a los valores proporcionados por los estándares. Para el análisis de la información se considerará como aceptable si los valores reportados por el laboratorio están dentro de la tolerancia permitida por los estándares usados para el control. Para las muestras de los diferentes botaderos y stocks se usó un tipo de estándar con diferentes nombres, el PAF\_Número (C), PAC\_Número (C) , PBF\_Número (C), PBC\_Número (C), etc, Se utilizó 1 solo tipo de estándar con diferentes leyes certificadas para valores de  $Al_2O_3$ , CaO y  $SO_3$ .

El estándar STD presenta más del 90% de las muestras dentro del rango de  $\pm 2$  desviaciones estándar con respecto al valor real certificado para el elementos  $SO_3$  y más del 80% para el  $Al_2O_3$  y el CaO.

STD			
	$Al_2O_3$	CaO	$SO_3$
Total	17	17	17
Dentro del rango	14	15	16
%	82.35	88.24	94.12

Tabla 13. Detalle de estándares insertados y analizados el 2014.

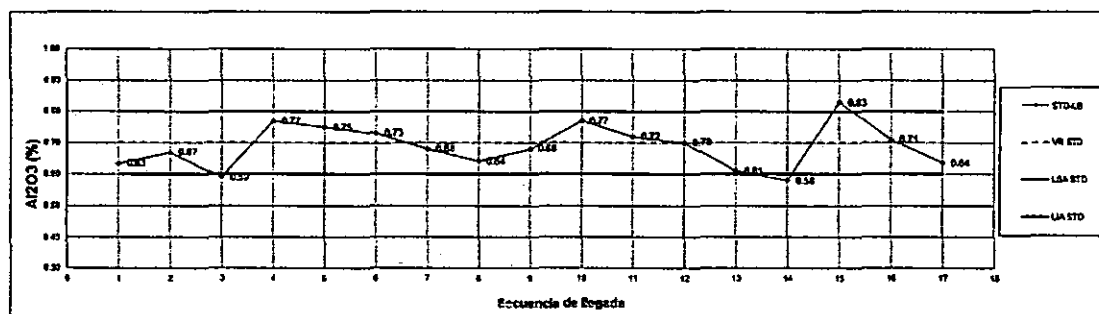
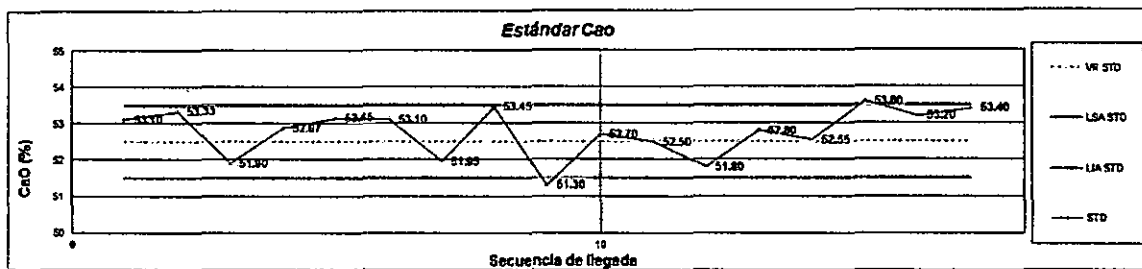


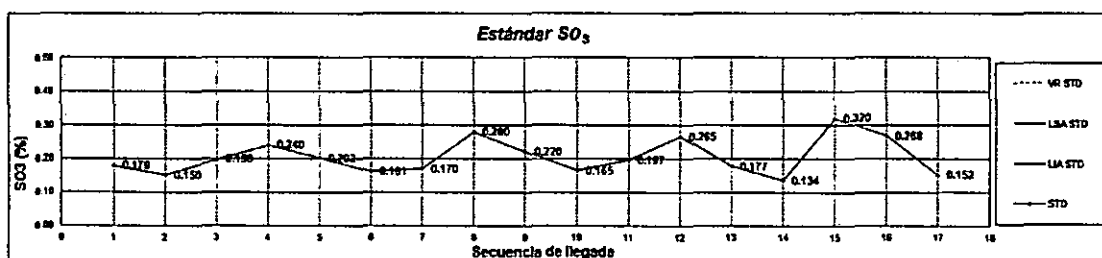
Gráfico 02. Valores de STD dentro del rango de  $\pm 2$  desviaciones estándar para el  $Al_2O_3$ .

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Gráfico 03.** Valores de STD dentro del rango de  $\pm 2$  desviaciones estándar para el CaO.



**Gráfico 04.** Valores de STD dentro del rango de  $\pm 2$  desviaciones estándar para el SO<sub>3</sub>.

- b) **Muestras gemelas:** Permiten conocer y asegurar la precisión del muestreo realizado y de los resultados enviados por el laboratorio. La precisión mide la reproducibilidad de la medición (dispersión) en torno a su valor medio (no necesariamente el valor verdadero).

Con los análisis de las muestras gemelas se ha detectado que el 100% de las muestras gemelas poseen una diferencia relativa menor al 30% con respecto a la muestra original, para los elementos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO y SO<sub>3</sub>, cumpliendo con la función para la que son insertadas este tipo de muestra de control.

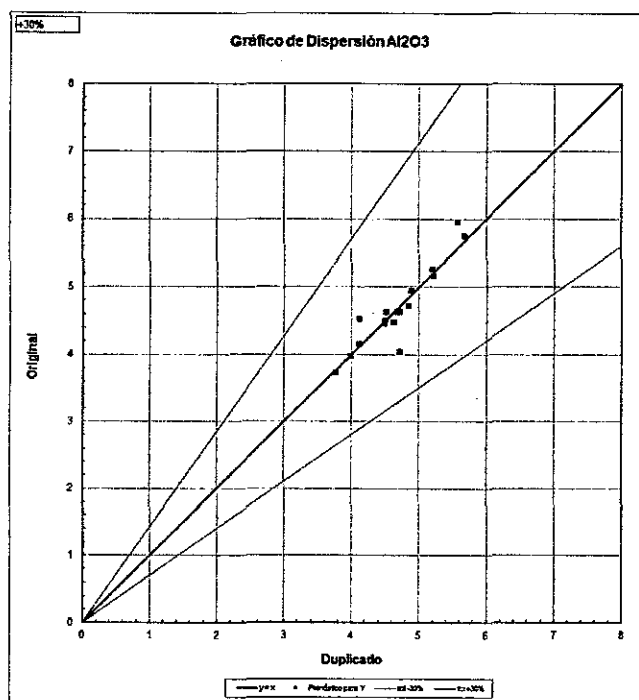
TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**GEMELAS**

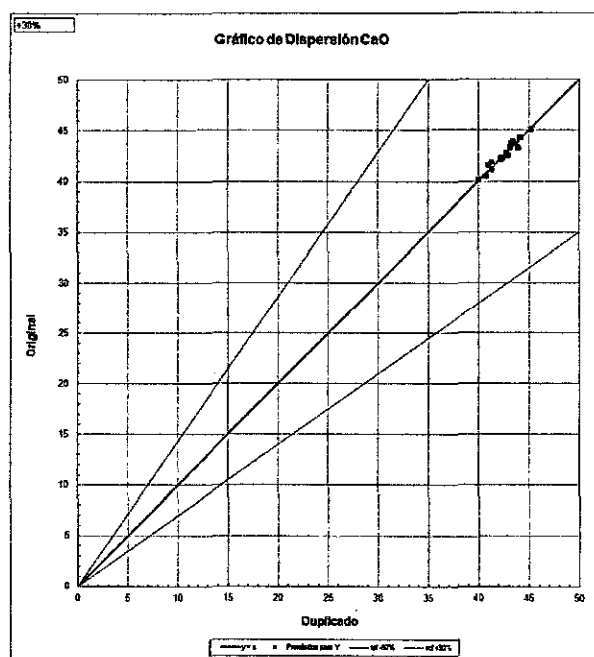
	Al2O3	CaO	SO3
<b>Total</b>	17	17	17
<b>Dentro del rango</b>	17	17	17
<b>%</b>	100.0	100.0	100.0

**Tabla 14.** Detalle de muestras gemelas obtenidas y analizadas el 2014 en Pucara.

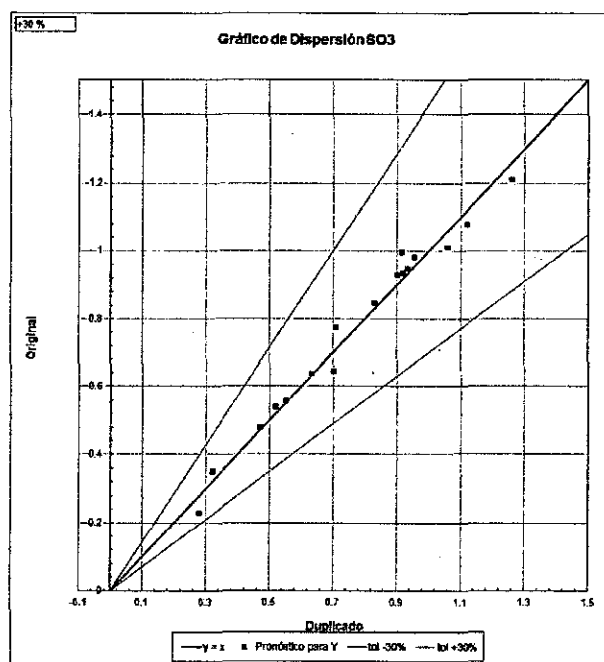


**Gráfico 05.** Dispersión de muestras gemelas obtenida para el Al2O3 según análisis en laboratorio.

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Gráfico 06.** Dispersión de muestras gemelas obtenida para el CaO según análisis en laboratorio.



**Gráfico 07.** Gráfico que denota la dispersión de muestras gemelas obtenida para el SO3 según análisis en laboratorio.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

- c) **Análisis de blancos:** Permiten conocer y asegurar el buen manipuleo de las muestras enviadas al laboratorio así como el correcto uso de los equipos empleados en las mediciones que se realizan. El lote actualmente utilizado para blancos finos fue preparado por ALS Minerals Division, se enviaron 250 kg y se prepararon 1,200 sobres de blancos finos reducidos a malla -200. El blancos fino es insertado preferentemente al inicio del lote de muestras de cada lote.

Los análisis de los blancos finos, muestran que el 100% de las muestras analizadas no sobrepasan el límite seguro de contaminación para los elementos  $SO_3$  y  $Al_2O_3$  y el 93.75% para el  $CaO$ .

¡Error!  
válido.

Blancos

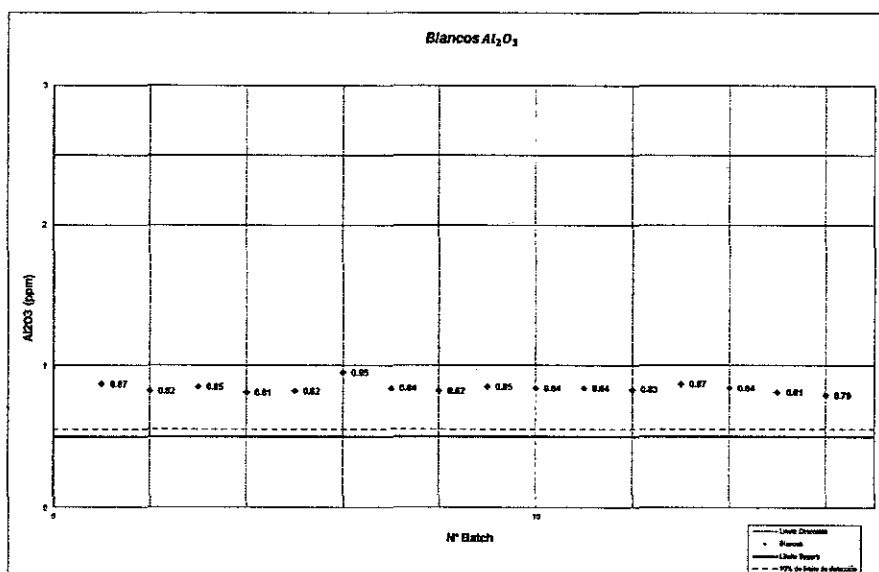
Vínculo no

	$Al_2O_3$	$CaO$	$SO_3$
Total	16	16	16
Dentro del rango	16	15	16
%	100.00	93.75	100.00

Tabla 14.

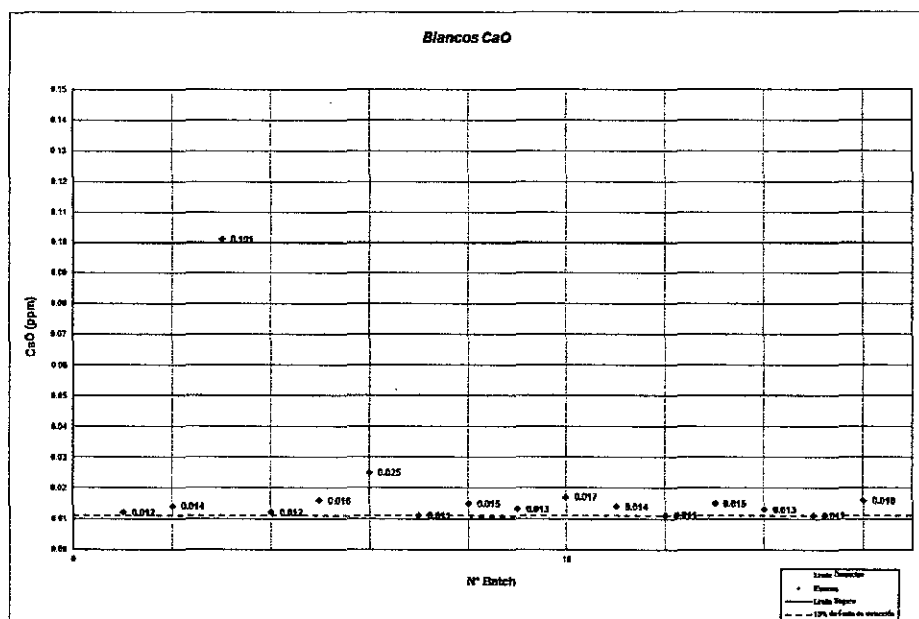
Detalle de

blancos finos insertados y analizados el 2014.

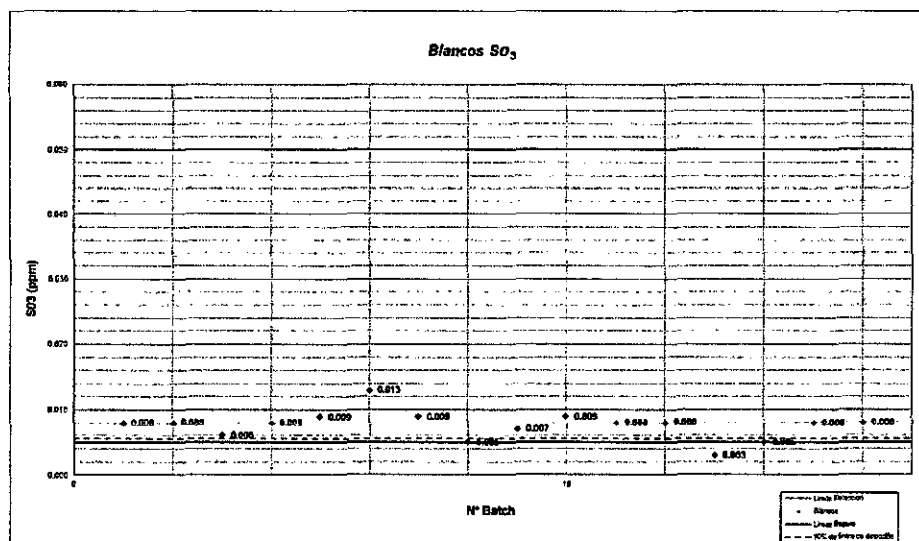


**Gráfico 08.** Muestra que el 100% de blancos finos para el  $Al_2O_3$  no sobrepasan el límite seguro para contaminación.

**TESIS:**



**Gráfico 09.** Muestra que el 93.75% de blancos finos para el CaO no sobrepasan el límite seguro para contaminación.



**Gráfico 10.** Muestra que el 100% de blancos finos para el SO3 no sobrepasan el límite seguro para contaminación.



TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

#### 4.6. DISEÑO DE MEZCLA:

El diseño de mezcla forma un papel importante en la recuperación de material, el cual consiste en mezclar el material previamente homogenizado con caliza de alta ley de acuerdo a una proporción aritmética.

La proporción se distribuye de la siguiente manera:

- 0.40% de Caliza alta
- 0.60% de Material a recuperar

Y se representa de la siguiente manera:

Zonas de carguío

Resultados de muestras homogenizadas.

Frete	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Alctot	Proporción	Proporción
PAC_29	4.52	2.34	42.36	2.28	0.64	0.51	1.00	1.00
PAC_31	4.27	1.99	42.83	2.22	0.39	0.55	2.00	3.00
Py389_240	3.55	1.78	45.31	1.38	0.06	0.54	2.00	2.00
Promedio	4.03	1.97	43.73	1.90	0.36	0.54	5 Paladas	
Promedio 2	4.07	1.98	43.58	1.95	0.36	0.54	6 Paladas	

Resultados a considerar para el transporte externo.

Caliza alta

0.6%

0.4%

- **Zona de carguío:** espacio físico de dónde se extrae el material para ser mezclado y cumpla con los parámetros de calidad. Está referido a los "Frentes" y "Camas" elaborados en los stocks Parcela, Talleres y Ducto mediante el método de homogenización.
- **Resultados de muestras homogenizadas:** Leyes de los diferentes óxidos conformantes de la caliza, obtenidos del proceso químico analítico a las muestras de los diferentes "Frentes" y "Camas" de los diferentes stocks.

#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- **Resultados a considerar para el transporte externo:** leyes que cumplen con los estándares de calidad establecidos para el material transportado de Pucará.
- **Caliza Alta:** Caliza de alta o baja ley extraída de la zona de explotación del tajo de Pucará. Es importante para la mezcla, ya que de esta depende la elevación o disminución de los compuestos químicos de la caliza.
- **Proporción:** son los cálculos estadísticos basados en parámetros aritméticos para la estimación de las leyes de las diferentes componentes que conforman el diseño de mezcla.

#### **Requisitos importantes para el cumplimiento del diseño de mezcla:**

Antes de mezclar el material, se realiza el carguío y transporte interno de la caliza alta desde los frentes disparados hasta los stocks o los botaderos de desmonte, se hace con volquetes y excavadora.

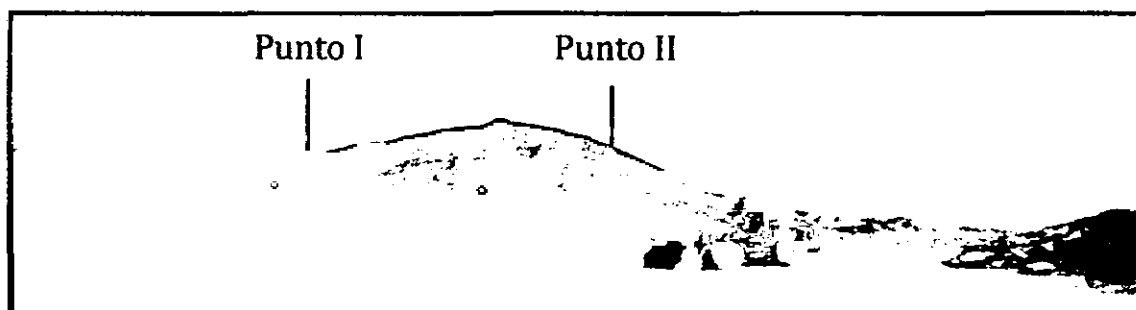
El carguío se basa en la extracción del material previamente homogenizado (caliza alta con caliza baja, media y marginal) de los diferentes puntos asignados. Para la mezcla de material se considera el número de paladas (entre 5 y 8) que ingresan en los diferentes tipos de volquetes dependiendo de su capacidad, en otras palabras, la pala del cargador frontal tiene una capacidad de 5Tn y los volquetes presentan capacidades entre 25 y 36Tn; teniendo como referencia el tonelaje, se hacen los cálculos respectivos y el número de paladas.

El transporte externo se inicia en la zona de carguío hasta la planta de cemento de la empresa UNACEM S.A.A.; para esto se utilizan 17 unidades, de las cuales

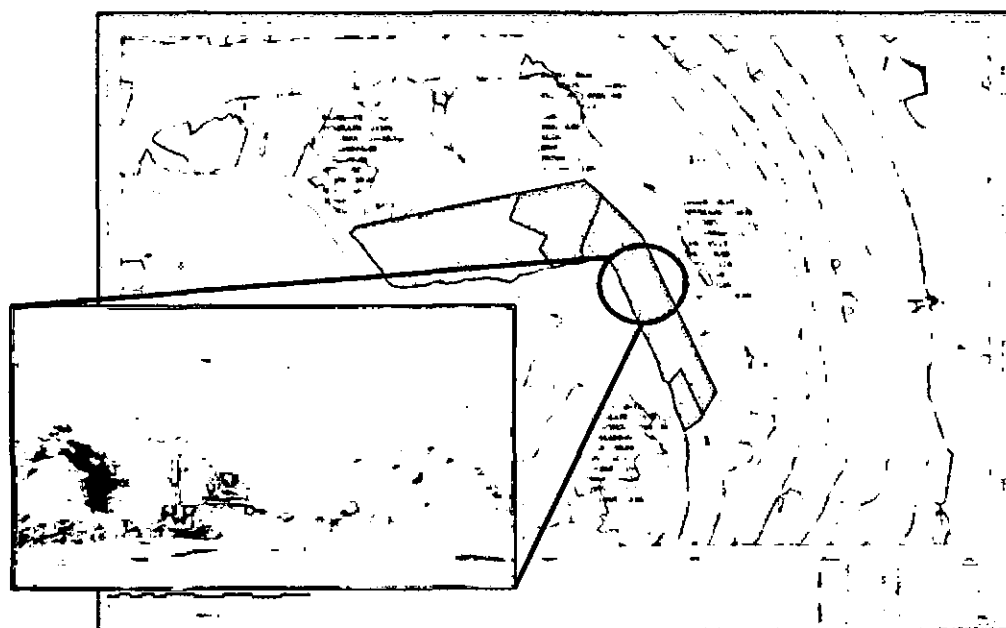
**TESIS:**

**OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

13 son volquetes con tonelajes variables y 4 son tráileres (Volquete más su remolque) con un tonelaje aproximado de 65Tn.



**Foto 30.** Diseño de carguío en el stock Parcela.



**Foto 31.** Proyecto con caliza de alta ley. Tajo Pucará: Nivel 230.

**TESIS:**

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

**4.7. ANALISIS GEOESTADÍSTICO DE MATERIAL TRANSPORTADO:**

Las unidades provenientes de la U.E.A. Pucará, actualmente descargan en la chancadora primaria de la planta de Cemento en Atocongo-Lima dependiendo del tipo de chancado (de caliza alta, media y baja), además 2 de las 17 unidades descargan en los stock designados en el tajo principal de Atocongo. Dicho material es muestreado por el Área de Control de Calidad para tener un mayor control del material estoqueado y poder asignar una ley al nuevo stock generado; es por eso que en base a dichos muestreos se ha realizado un análisis geoestadístico para la corroboración de la ley de la caliza que cumple con los parámetros establecidos en el diseño de mezcla.

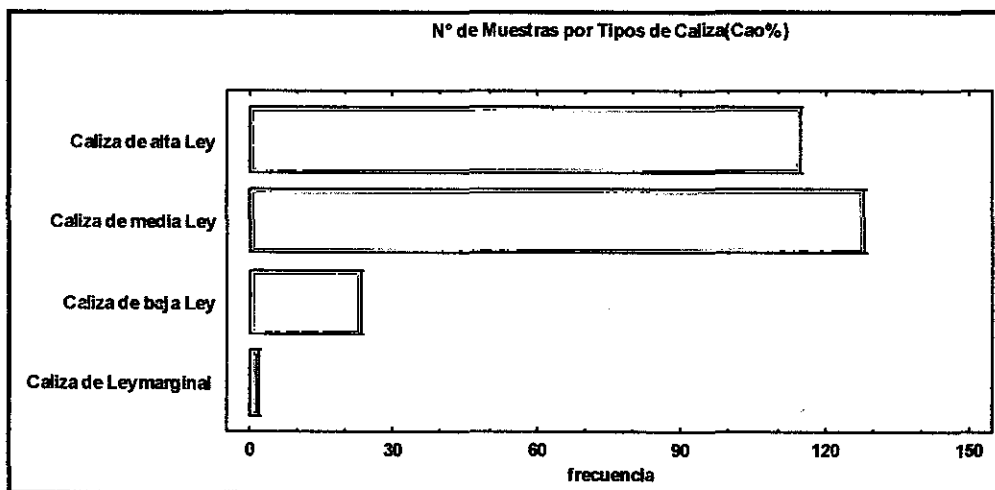
Para llevar a cabo el análisis geoestadístico, se han escogido dos meses al azar, correspondiendo a Julio y Agosto de los cuales se han interpretado 268 muestras; cabe mencionar que el promedio considerado por el Área de Control de Calidad, era el resultado diario debido a la variabilidad que podría presentar el material ya sea por causa del muestreo o por el pedido de un material diferente a la caliza media.

**4.7.1. PROCESAMIENTO DE VARIABLES CUALITATIVAS**

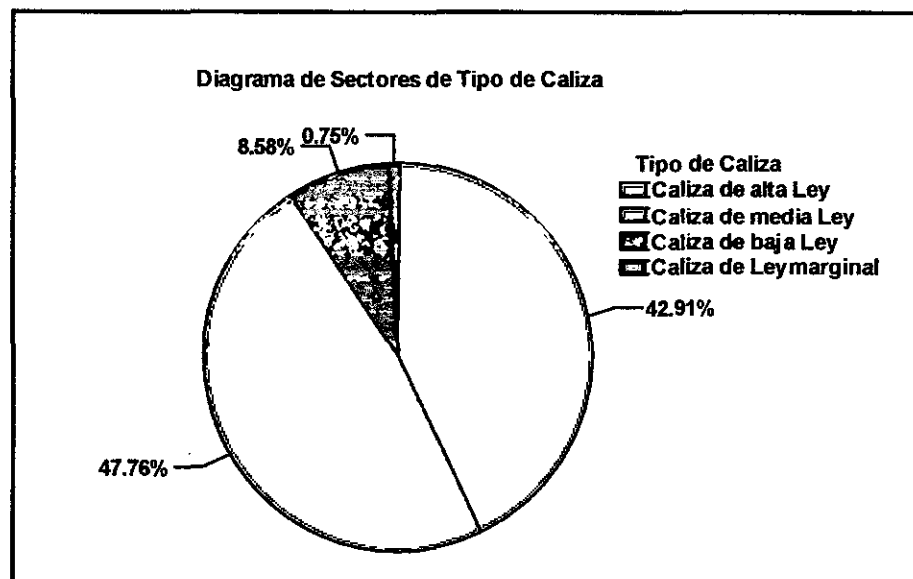
Clase	Valor	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. acum.
1	Caliza de alta Ley	115	0.4291	115	0.4291
2	Caliza de media Ley	128	0.4776	243	0.9067
3	Caliza de baja Ley	23	0.0858	266	0.9925
4	Caliza de Ley marginal	2	0.0075	268	1.0000

**Tabla 15.** Frecuencia para cada Tipo de Caliza.

**Análisis:** La tabla N° 15 muestra el número de veces que se ha presentado cada valor de Tipo de Caliza así como los porcentajes y estadísticas acumuladas. Por ejemplo, en 115 muestras de caliza son iguales a Caliza de alta Ley. Esto representa 42.9104% de los 268 resultados de muestras analizadas en laboratorio.



**Grafico 11.** Existe el mayor número de muestras que corresponden al tipo de caliza de ley media.

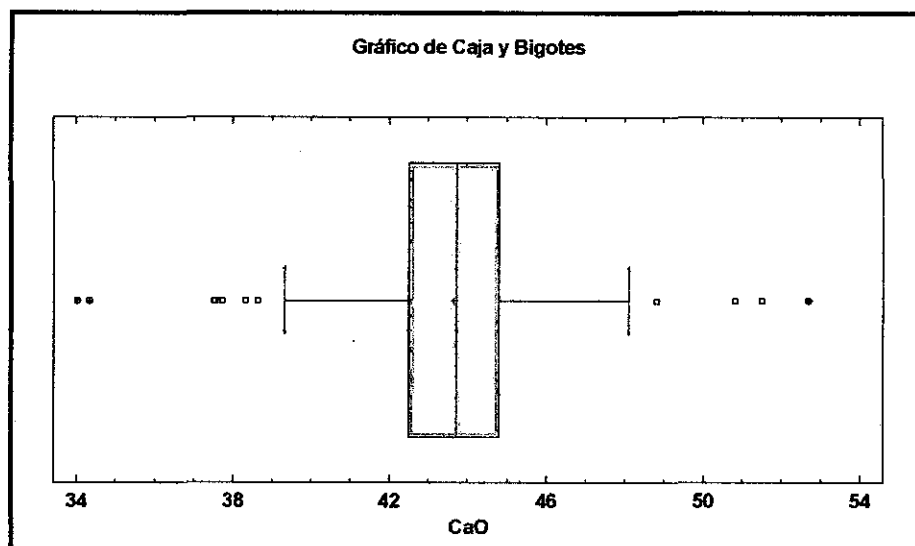


**Grafico 12.** El 47.76% del total de número de muestras corresponde a la Caliza de ley media, siendo el porcentaje mayor con respecto a los otros porcentajes de los tipos de caliza.

**TESIS:**

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

**- PROCESAMIENTO DEL CaO COMO VARIABLE CUANTITATIVA:**



**Gráfico 13.** Caja y Bigotes para el CaO.

**Análisis:** La variable CaO presenta valores atípicos, los cuales son importantes ya que representan el porcentaje de ley baja o ley alta de la caliza que eran solicitados por el área de Control de Calidad de la planta procesadora de cemento, para un control detallado de la veracidad del material enviado desde el yacimiento Pucará.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	33.0		0	0.0000	0	0.0000
1	33.0	34.6	33.8	2	0.0075	2	0.0075
2	34.6	36.2	35.4	0	0.0000	2	0.0075
3	36.2	37.8	37.0	3	0.0112	5	0.0187
4	37.8	39.4	38.6	4	0.0149	9	0.0336
5	39.4	41.0	40.2	17	0.0634	26	0.0970
6	41.0	42.6	41.8	46	0.1716	72	0.2687
7	42.6	44.2	43.4	95	0.3545	167	0.6231
8	44.2	45.8	45.0	69	0.2575	236	0.8806
9	45.8	47.4	46.6	24	0.0896	260	0.9701
10	47.4	49.0	48.2	5	0.0187	265	0.9888
11	49.0	50.6	49.8	0	0.0000	265	0.9888
12	50.6	52.2	51.4	2	0.0075	267	0.9963
13	52.2	53.8	53.0	1	0.0037	268	1.0000
14	53.8	55.4	54.6	0	0.0000	268	1.0000
15	55.4	57.0	56.2	0	0.0000	268	1.0000
	mayor de	57.0		0	0.0000	268	1.0000

**Media = 43.6383 Desviación Estándar = 2.1864**

**Tabla 16.** Frecuencias para el CaO.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

**Análisis:** De acuerdo a la Tabla de frecuencias para el CaO podemos obtener las siguientes conclusiones:

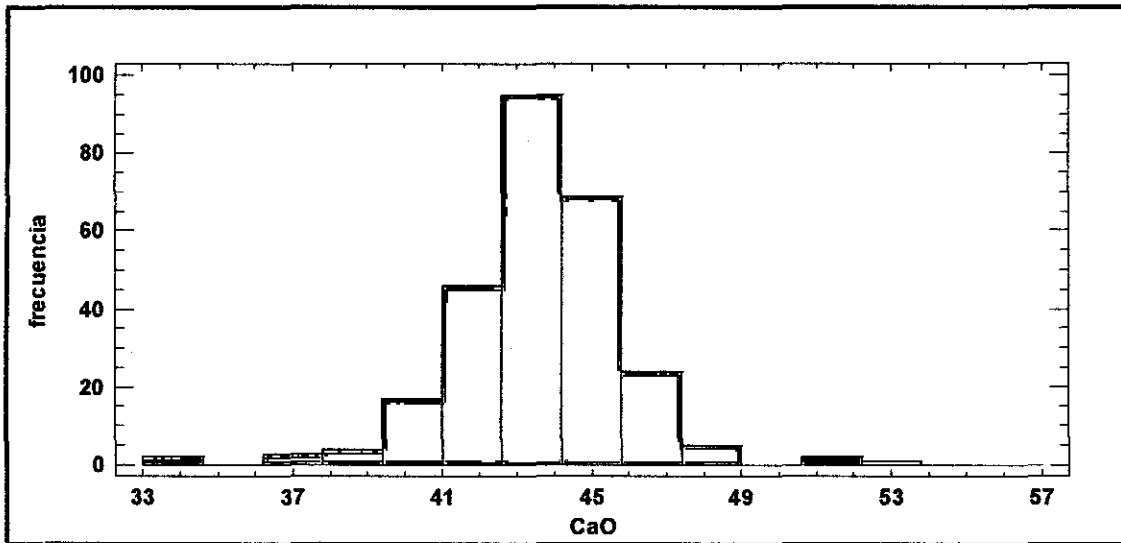
- Clase 2: Los valores porcentuales de 2 muestras de 268 muestras se encuentra entre los rangos 34.6 y 36.2 de concentración de CaO en la roca caliza. Lo que significa que son valores insignificantes para el total de muestras.
- Clase 7: Los valores porcentuales más importantes a considerar son los que se aproximan a la ley media de CaO, por lo que 95 muestras de 268, se encuentran entre los rangos 42.6% y 44.2% de concentración de CaO en la roca caliza; lo que corresponde al 35,45% del porcentaje total.

<b>Recuento</b>	268
<b>Moda</b>	43.71
<b>Intervalo inferior</b>	42.6
<b>Intervalo superior</b>	44.2
<b># clase</b>	7

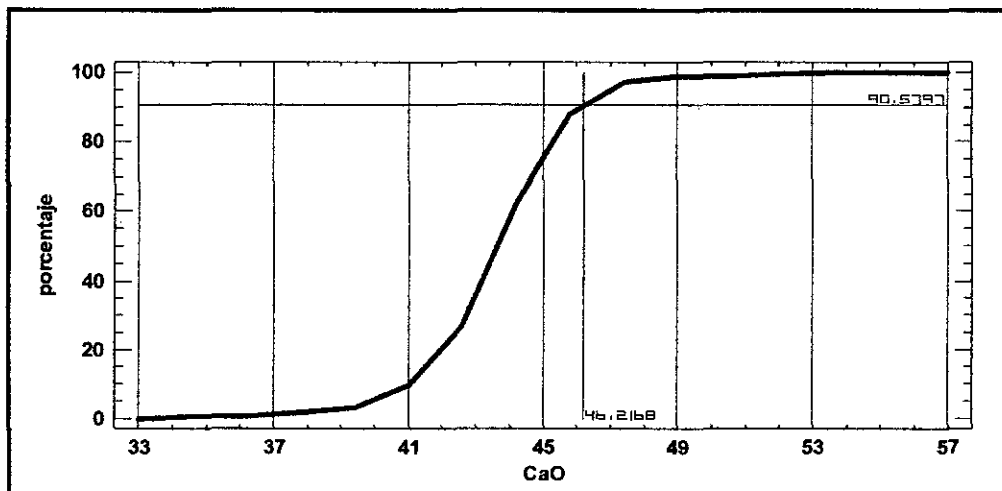
- Clase 6 y 8: Presentan valores porcentuales importantes ya que se encuentran dentro de la desviación estándar  $\pm 2$  de la ley promedio del CaO en la Caliza de ley media; ya que 46 muestras de 268 se encuentran entre los rangos 41.0% a 42.6% lo que equivale 17.16% de concentración de CaO; además, las muestras que conciernen a la clase 8 son 69 de 268 muestras, las cuales se encuentran entre los rangos 44.2% y 45.8%, equivalente al 25.75% del total de muestras.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Gráfico 14.** Histograma para CaO por número de muestra. El histograma presenta "forma" normal.



**Gráfico 15.** Polígono de Frecuencia Relativa Acumulada para CaO por número de Muestra.



**TESIS:**

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

**Resumen Estadístico para el CaO:**

<b>Recuento</b>	268
<b>Promedio</b>	43.6383
<b>Mediana</b>	43.71
<b>Moda</b>	43.71
<b>Media Geométrica</b>	43.5827

Análisis: El promedio total de las 268 muestras es el esperado, ya que está dentro del porcentaje de concentración del CaO para una caliza de ley media; de la misma manera se mantienen cerca o dentro del rango los valores presentados de la mediana, moda y media geométrica.

Los valores de los resultados presentan un sesgo negativo ya que el promedio es menor que la mediana, lo cual puede ser un indicativo de contradicción, pero las interpretaciones están sujetas a los parámetros establecidos por la fábrica de cemento. La Desviación Estándar para las muestras es de 2.1864

**El coeficiente de variación de los datos:**

<b>Recuento</b>	268
<b>Coeficiente de Variación</b>	5.01029%

Análisis: El coeficiente de variación del análisis estadístico de la concentración del CaO es un indicador de que existe un alto grado de homogeneidad, es decir, hay poca variabilidad lo cual es un indicativo de que es un proceso estadísticamente controlado.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

### Percentiles para CaO

	Percentiles	Límite Inferior	Límite Superior
1.0%	37.5	38.0084	39.022
5.0%	40.3	39.6125	40.4195
10.0%	41.01	40.4613	41.1708
25.0%	42.48	41.8621	42.4437
50.0%	43.71	43.3761	43.9005
75.0%	44.81	44.8328	45.4145
90.0%	46.0	46.1058	46.8152
95.0%	46.3	46.8571	47.664
99.0%	50.81	48.2545	49.2682

**Tabla 17.** Análisis para los intervalos que contienen el 50% inferior y el 50 % superior de los datos.

#### 4.7.1.1. PROCESAMIENTO DE DOS VARIABLES CUALITATIVAS:

MES	Caliza de Ley marginal	Caliza de alta Ley	Caliza de baja Ley	Caliza de media Ley	Total por Fila
AGOSTO	1	55	10	57	123
	0.37%	20.52%	3.73%	21.27%	45.90%
JULIO	1	60	13	71	145
	0.37%	22.39%	4.85%	26.49%	54.10%
Total por Columna	2	115	23	128	268
	0.75%	42.91%	8.58%	47.76%	100.00%

**Tabla 18.** Frecuencias para MES por Tipo de Caliza

**Contenido de las celdas:** Frecuencia Observada y Porcentaje de la Tabla

**Análisis:** Análisis de frecuencia absoluta, frecuencia relativa, frecuencia marginal absoluta y frecuencia marginal relativa. De la tabla de Asociación se puede deducir lo siguiente:

- La frecuencia absoluta del mes de AGOSTO para caliza de ley marginal es de 1 y su frecuencia relativa es de 0.37%; para la caliza de alta ley es

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

de 55 y su frecuencia relativa es de 20.52%; para la caliza de baja ley es de 10 y su frecuencia relativa es de 3.73%; para la caliza de ley media es de 57 y su frecuencia relativa es de 21.27%. Por lo tanto su frecuencia absoluta conjunta es 123 (frecuencia relativa conjunta: 45.90%).

- La frecuencia absoluta del mes de JULIO para caliza de ley marginal es de 1 y su frecuencia relativa es de 0.37%; para la caliza de alta ley es de 60 y su frecuencia relativa es de 22.39%; para la caliza de baja ley es de 13 y su frecuencia relativa es de 4.85%; para la caliza de ley media es de 71 y su frecuencia relativa es de 26.49%. Por lo tanto su frecuencia absoluta conjunta es 145 (frecuencia relativa conjunta: 54.10%).
- La frecuencia marginal absoluta del mes de AGOSTO para caliza de ley marginal es de 1 y su frecuencia marginal relativa es de 1; para la caliza de alta ley es de 55 y su frecuencia marginal relativa es de 0.41; para la caliza de baja ley es de 13 y su frecuencia marginal relativa es de 0.08; para la caliza de ley media es de 57 y su frecuencia marginal relativa es de 0.46.
- La frecuencia marginal absoluta del mes de JULIO para caliza de ley marginal es de 1 y su frecuencia marginal relativa es de 1; para la caliza de alta ley es de 60 y su frecuencia marginal relativa es de 0.55; para la caliza de baja ley es de 10 y su frecuencia marginal relativa es de 0.09; para la caliza de ley media es de 71 y su frecuencia marginal relativa es de 0.49.

Análisis de frecuencias relativas (%) condicionadas a filas o a columnas. De la tabla de Asociación se puede deducir lo siguiente:

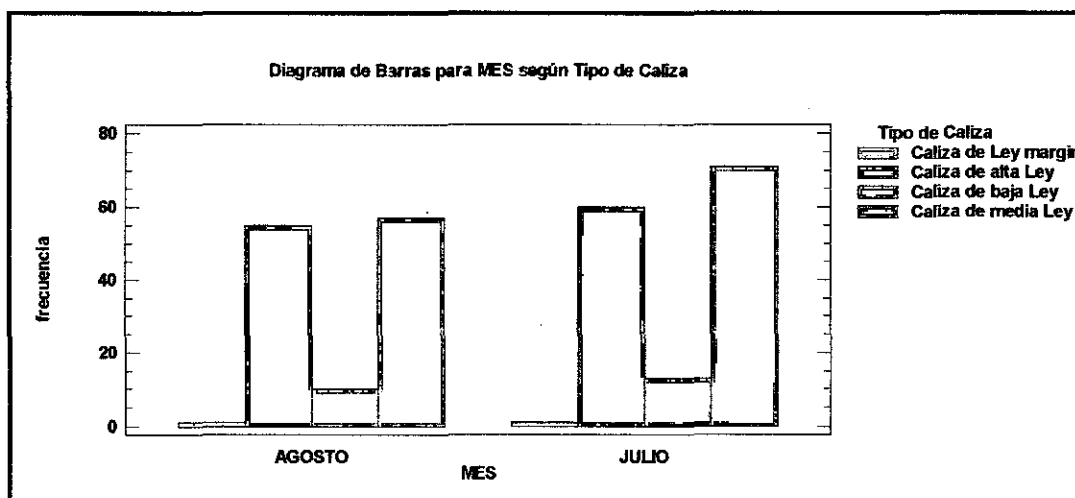
- Para el mes de AGOSTO la frecuencia condicionada para la CALIZA de ley marginal es de 1 y su frecuencia condicionada relativa es de  $\frac{1}{2}=0.5$ ; la

**TESIS:**

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

frecuencia condicionada para la CALIZA de alta ley es de 55 y su frecuencia condicionada relativa es de  $55/115=0.48$ ; la frecuencia condicionada para la CALIZA de baja ley es de 13 y su frecuencia condicionada relativa es de  $13/23= 0.57$ ; la frecuencia condicionada para la CALIZA de ley media es de 57 y su frecuencia condicionada relativa es  $57/128=0.45$ .

- Para el mes de JULIO la frecuencia condicionada para la CALIZA de ley marginal es de 1 y su frecuencia condicionada relativa es de  $\frac{1}{2}=0.5$ ; la frecuencia condicionada para la CALIZA de alta ley es de 60 y su frecuencia condicionada relativa es de  $60/115=0.52$ ; la frecuencia condicionada para la CALIZA de baja ley es de 10 y su frecuencia condicionada relativa es de  $10/23= 0.43$ ; la frecuencia condicionada para la CALIZA de ley media es de 71 y su frecuencia condicionada relativa es  $71/128= 0.55$ .



**Gráfico 16.** Resultados mostrados en la tabla de asociación para los meses de Julio y Agosto.

TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

#### 4.7.2. PROCESAMIENTO DE DOS VARIABLES CUANTITATIVAS:

- Variable dependiente:  $Al_2O_3$
- Variable independiente:  $CaO$
- Log-X:  $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Coefficientes

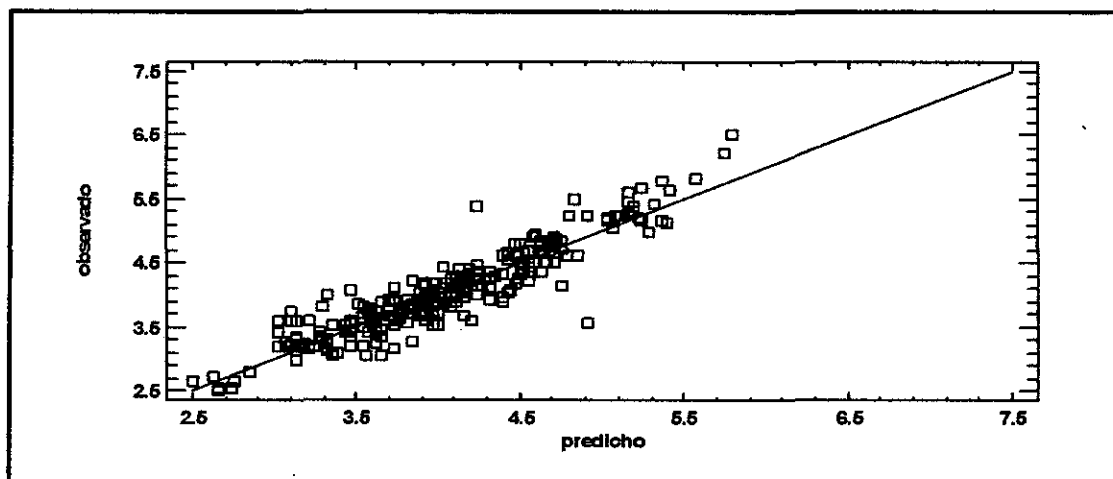
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	67.871	1.64075	41.3659	0.0000
Pendiente	-16.9081	0.434394	-38.9235	0.0000

Análisis de Varianza:

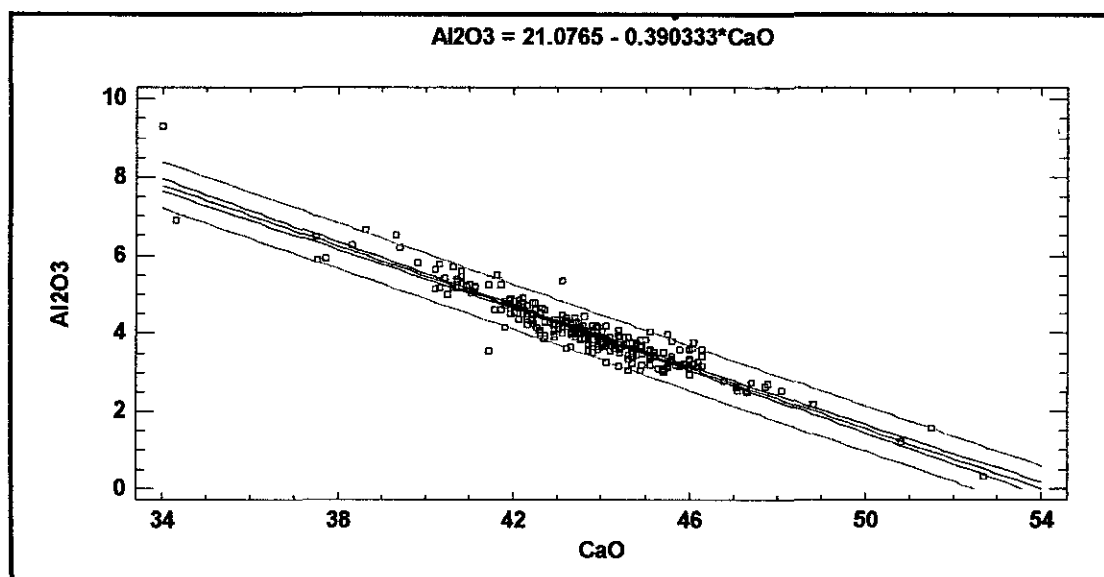
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	106.661	1	106.661	1515.04	0.0000
Residuo	17.882	254	0.0704014		
Total (Corr.)	124.543	255			

- Coeficiente de Correlación = -0.925429
- R-cuadrada = 85.6419 por ciento
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 85.5854 por ciento
- Error estándar del est. = 0.265333
- Error absoluto medio = 0.196587
- Estadístico Durbin-Watson = 1.28334 (P=0.0000)
- Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.357443

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Gráfico 17.** Dispersión de los datos y el modelo lineal ajustado para el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .



**Gráfico 18.** Modelo Ajustado para el CaO Vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo log-X para describir la relación entre  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y CaO. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 67.871 - 16.9081 \cdot \ln(\text{CaO})$$

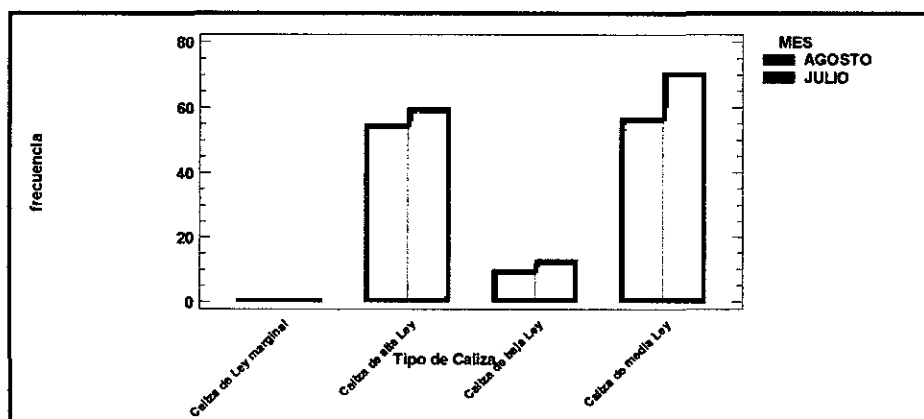
#### TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre  $Al_2O_3$  y CaO con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 85.6419% de la variabilidad en  $Al_2O_3$  después de transformar a una escala  $Y/(1-Y)$  para linerizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a -0.925429, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0.265333. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

El error absoluto medio (MAE) de 0.196587 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95.0%.



**Gráfico 19.** Diagrama de Barras para el tipo de Caliza según el mes.

En base al análisis geoestadístico de los datos a partir de la opción de "Comparación de modelos alternativos" se buscó un modelo diferente al modelo lineal interpretado anteriormente, el cual presentó mejor el comportamiento de los datos.

**TESIS:**

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Logaritmo de X	-0.9480	89.88%
Raíz Cuadrada de X	-0.9475	89.77%
Inversa de X	0.9464	89.57%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.9462	89.53%
Lineal	-0.9461	89.51%
Raíz Cuadrada de Y	-0.9422	88.77%
Cuadrado de X	-0.9408	88.51%
Raíz Cuadrada Doble	-0.9390	88.18%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.9350	87.43%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.9245	85.47%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.9241	85.39%
Cuadrado-Y Log-X	-0.9113	83.05%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.9037	81.68%
Log-Y Cuadrado-X	-0.8957	80.22%
Cuadrado de Y	-0.8954	80.18%
Exponencial	-0.8806	77.54%
Cuadrado Doble	-0.8767	76.85%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.8721	76.06%
Multiplicativa	-0.8630	74.48%
Curva S	0.8430	71.06%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.5417	29.35%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.4984	24.84%
Inversa-Y Log-X	0.4841	23.43%
Doble Inverso	-0.4554	20.74%
Inversa de Y	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

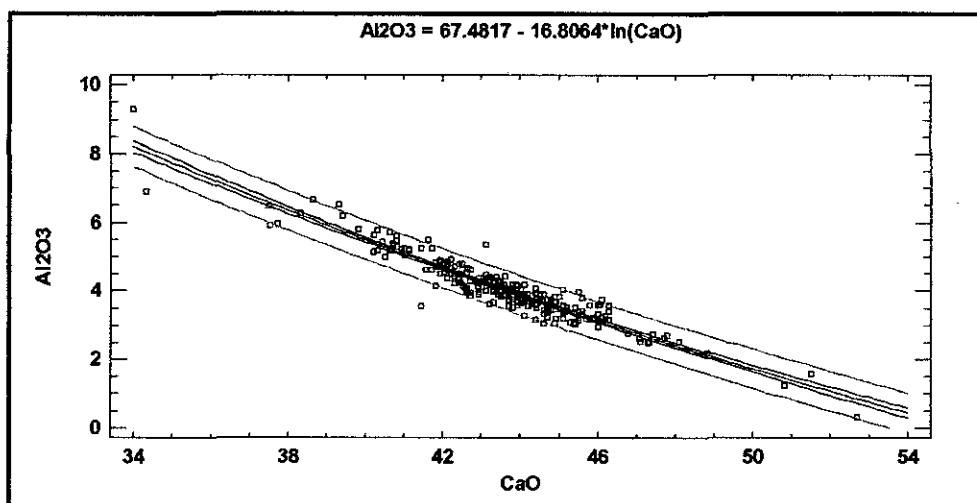
**Tabla 19.** Comparación de Modelos Alternos.

**Análisis:** Esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo log-X es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 89.8769% para el análisis de CaO Vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En primera instancia se seleccionó el modelo lineal, pero por comparación de modelos alternos, el nuevo modelo a proponer es 0.370413% mayor que el modelo mencionado.



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO



**Gráfico 19.** Nuevo modelo ajustado y la respectiva ecuación.

Estas son algunas estimaciones con un 95% de confianza para el nuevo modelo ajustado para el CaO y el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:

Predicciones 95.00%			
X	Y	Límite Inferior	Predicción Superior
34	8.25	7.68	8.81
42.12	4.63	4.70	4.90
52.71	0.83	0.29	1.38

#### 4.7.3. PROCESAMIENTO DE VARIABLE CUANTITATIVA, SEGÚN UN FACTOR:

A continuación se presenta el contexto del enunciado del problema y las hipótesis de prueba y la hipótesis alternativa para el CaO:

Enunciado: Sí los promedios de los diferentes tipos de calizas de acuerdo a su concentración de CaO, presentan una diferencia estadísticamente significativa, entonces, su nivel de confianza es del 95%.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

- H0: Promedio del óxido de calcio (CaO) para la caliza de ley media es igual a ley de los diferentes tipos de caliza.
- H0: No hay diferencia estadísticamente significativa entre el promedio del óxido de calcio (CaO) de los diferentes tipos calizas de acuerdo a su ley.
- H1: Promedio del óxido de calcio (CaO) para los diferentes tipos de caliza difiere entre unos y otros.
- H1: Hay diferencia estadísticamente significativa entre el promedio del óxido de calcio (CaO) de los diferentes tipos de caliza.

Tipo de Caliza	Tamaño Muestra	Rango Promedio
Caliza de Ley marginal	2	1.5
Caliza de alta Ley	115	211.0
Caliza de baja Ley	23	14.0
Caliza de media Ley	128	89.5

Estadístico = 216.688 Valor-P = 0

**Tabla 20.** Prueba de Kruskal-Wallis para CaO por Tipo de Caliza

Medida de resumen de interés, para cada uno de los diferentes tipos de caliza (Resumen estadístico) y su respectiva situación de forma gráfica (Gráfico de Cajas y bigote):

Tipo de Caliza	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo
Caliza de Ley marginal	2	34.155	0.219203	0.641789%	34.0
Caliza de alta Ley	115	45.4107	1.41848	3.12367%	44.01
Caliza de baja Ley	23	39.8578	1.14077	2.86209%	37.5
Caliza de media Ley	128	42.8734	0.76107	1.77516%	41.0
Total	268	43.6383	2.1864	5.01029%	34.0

**Tabla 21.** Resumen Estadístico para CaO.

TESIS:

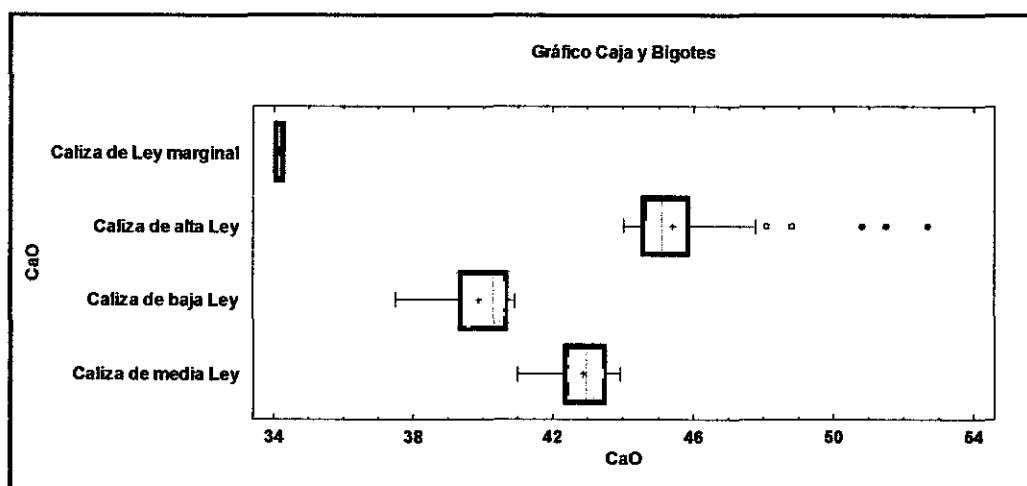
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

Tipo de Caliza	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
Caliza de Ley marginal	34.31	0.31		
Caliza de alta Ley	52.71	8.7	11.5116	20.4637
Caliza de baja Ley	40.92	3.42	-2.28911	-0.0262609
Caliza de media Ley	43.91	2.91	-2.26762	-1.5095
Total	52.71	18.71	-2.07958	13.0076

**Tabla 22.** Resumen Estadístico para CaO (Continuación de Tabla 21).

**Análisis:** Esta tabla muestra diferentes análisis estadísticos de CaO para cada uno de los 4 niveles de Tipo de Caliza.

Situación de forma gráfica:

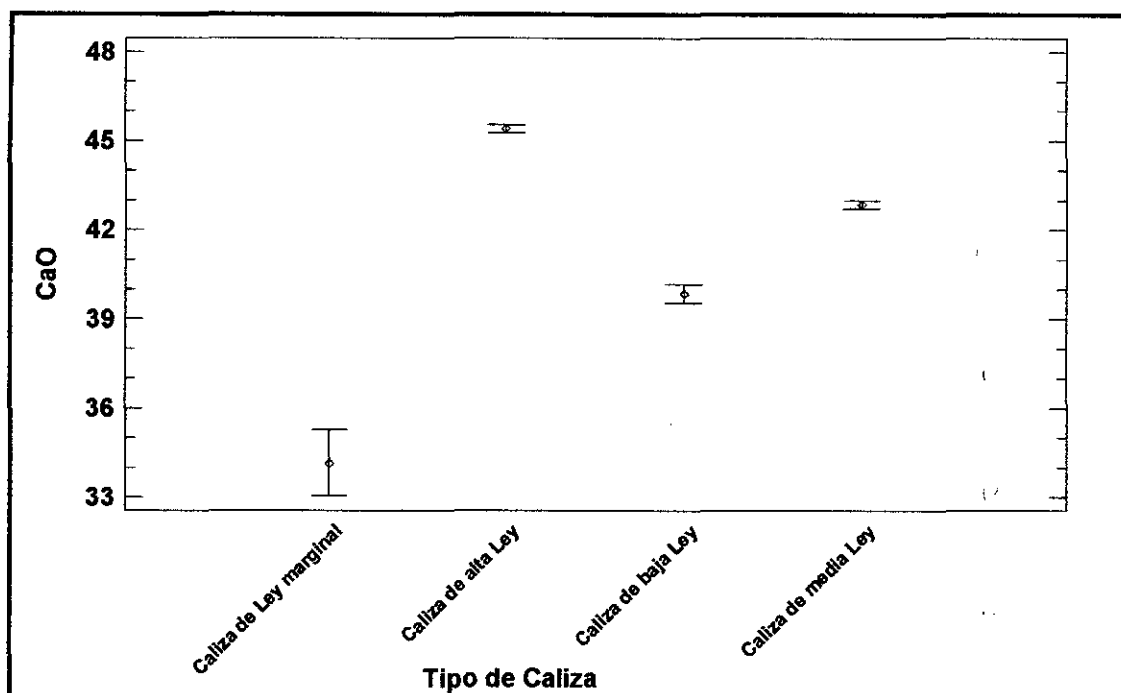


Tipo de Caliza	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Caliza de Ley marginal	2	34.155	0.792505	33.0516	35.2584
Caliza de alta Ley	115	45.4107	0.104512	45.2652	45.5562
Caliza de baja Ley	23	39.8578	0.233697	39.5325	40.1832
Caliza de media Ley	128	42.8734	0.0990631	42.7354	43.0113
Total	268	43.6383			

**Tabla 24.** Medias para CaO por Tipo de Caliza con intervalos de confianza del 95.0%.

TESIS:  
OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA  
FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

### Valores promedios



**Gráfico 20.** Medias y 95% de Fisher LSD.

Supuestos del análisis de varianza se cumplen: Igualdad en la variabilidad de los distintos niveles del factor, errores distribuidos según el modelo de Probabilidad Normal.

### **Verificación de Varianza**

	Prueba	Valor-P
Levene's	0.675389	0.509877

Comparación	Sigma1	Sigma2	F-Ratio	P-Valor
Caliza de alta Ley / Caliza de baja Ley	1.11678	1.32634	0.708976	0.2819
Caliza de alta Ley / Caliza de media Ley	1.11678	0.895601	1.55493	0.0172
Caliza de baja Ley / Caliza de media Ley	1.32634	0.895601	2.1932	0.0124

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

**Análisis:** El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de CaO dentro de cada uno de los 3 niveles de Tipo de Caliza es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

La tabla también muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 2, indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significación.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO

## CAPÍTULO V : INTERPRETACION DE RESULTADOS

### CONCLUSIONES:

- Al emplear los métodos de muestreo en los diferentes stocks y botaderos se ha logrado recuperar aproximadamente **5'300,608Tn**, que en mezcla con caliza de alta ley de aproximadamente 2'120,243Tn darían un total de **7'420,851Tn** de aumento estimado en las reservas de los referidos Stocks y Botaderos.

	Zona	Tipo	Ton	CaO	SO3	Al2O3	C. Alta
<b>1</b>	Ducto A	Media	79590	43.30	1.42	4.08	31836
<b>3</b>	Ducto B	Baja	20440	42.21	1.25	4.85	8176
<b>4</b>	Stock Media	Media	28286	43.00	1.00	4.14	11314.4
<b>5</b>	Stock Nv 430	Baja	62510	41.41	0.47	5.01	25004
<b>6</b>	Stock Nv 470	Baja	99662	40.45	0.87	5.55	39864.8
<b>7</b>	Stock 440	Baja	40120	40.61	0.59	5.44	16048
<b>8</b>	Stock Yahriel	Baja BA	470000	41.20	0.60	5.16	188000
<b>9</b>	Stock Parcela	Baja-Media	4500000	39.74 43.86	0.41-1.14	4.06-6.11	1800000
<b>Total</b>			<b>5300608</b>				<b>2120243</b>

**Tabla 24.** Estimación de reservas en botaderos de la U.E.A Pucará. Fuente: Topografía-UNACEM S.A.A.

- Se implementó un protocolo de muestreo eficiente para los diferentes stocks y botaderos.
- El material transportado hasta la fecha viene cumpliendo con los parámetros de calidad requeridos para la elaboración de cemento y a su vez ha generado un ahorro económico de 1 200000 dólares a la empresa.
- Con la disminución de la ley de corte del yacimiento a partir del diseño de mezcla, se ha logrado ahorrar más de **20 millones de soles**.

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- Los métodos de muestreo geológicos propuestos: Capas adosadas y Cama han permitido mejorar significativamente la calidad de la caliza para la elaboración del cemento, presentando valores homogéneos y cumplen con los estándares de calidad solicitados por el área de control de calidad.
- De acuerdo a resultados de muestreo en Atocongo realizado por el área de Control de Calidad de UNACEM S.A.A., la caliza Pucará hasta la fecha viene cumpliendo con los parámetros de calidad requeridos.
- La calidad del óxido de calcio tiende a disminuir en zonas donde predominan diques andesíticos y en zonas aledañas a la superficie.
- Durante el mapeo Geológico no se han visualizado zonas de Skarn, por lo que la variación de la diferente litología se debe a la existencia de materiales netamente sedimentarios y contactos secos entre la caliza y los diques ígneos.
- No existen materiales que presenten el trióxido de aluminio inferior al 2%.
- Hacia el Nor-Oeste del cuerpo de caliza, entre el contacto de la formación Atocongo y formación Pamplona existe una faja de caliza marginal y estéril de aproximadamente 160 m de largo por 60 m de ancho; en la que su bajo contenido de CaO puede deberse a la existencia de materiales arcillosos provenientes de la lutita, originando en el cuerpo un alto contenido de trióxido de aluminio.
- De acuerdo a la distribución del óxido de calcio en el plano de zonificación; la caliza de alta, media y baja calidad en superficie

TESIS:

OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

cubre aproximadamente el 60% del área que abarca desde el nivel 430 hasta el nivel 530.

- La caliza en profundidad tiene alto contenido de trióxido de azufre en halos cercanos a la formación Atocongo, y los valores están predominantemente en el rango de caliza marginal y estéril. En cambio en zonas cercanas a superficie hay aumento de óxido de fierro y disminución de  $SO_3$ , mayormente cuando el óxido de calcio es menor a 36%.
- De acuerdo al mapeo geológico y modelo de bloques, la caliza de alta calidad se ubica hacia el extremo Sur Este del cuerpo de caliza, distribuido aisladamente en toda la zona norte del tajo.
- Para los niveles superiores se ha estimado 909569.26Tn de reservas probadas de caliza, siendo de mayor predominancia la caliza bajo CaO.
- De acuerdo al análisis cualitativo de la tabla de frecuencia se concluye que 128 muestras de caliza corresponden a Caliza de ley media. Esto representa 47.76% de los 268 resultados de muestras analizadas en laboratorio. Así mismo, se concluye que 266 muestras corresponden a los tipos de calizas de alta, media y baja ley; lo que equivale al 99.25% del total de muestras; tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Clase	Valor	Frecuencia	Frecuencia Relativa
1	Caliza de alta Ley	115	42.91
2	Caliza de media Ley	128	47.76
3	Caliza de baja Ley	23	8.58
Total		266	99.25



TESIS:

OPTIMIZACION DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO

- La variable CaO presenta valores atípicos, los cuales son importantes ya que representan el porcentaje de ley baja o ley alta de la caliza que eran solicitados por el área de Control de Calidad de la planta procesadora de cemento, para un control detallado de la veracidad del material enviado desde el yacimiento Pucará.
- Solamente existen valores porcentuales de 2 muestras de 268 muestras se encuentra entre los rangos 34.6 y 36.2 de concentración de CaO en la roca caliza. Lo que significa que son valores insignificantes para el total de muestras.
- El promedio total de las 268 muestras es el esperado, ya que está dentro del porcentaje de concentración del CaO para una caliza de ley media; de la misma manera los valores presentados de la mediana, moda y media geométrica se mantienen cerca o dentro del rango establecido.
- El coeficiente de variación del análisis estadístico de la concentración del CaO es un indicador de que existe un alto grado de homogeneidad, es decir, hay poca variabilidad lo cual es un indicativo de que es un proceso estadísticamente controlado.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA - ATOCONGO**

**RECOMENDACIONES:**

- Hacer una exploración geológica a detalle desde el nivel 210 hacia el nivel 270 del tajo principal de Pucará, ya que en el nivel 270 desde la cresta a aproximadamente 20 metros hacia atrás, al parecer tiende a desaparecer el cuerpo de caliza.
- Existe una reserva probable de 6181387.262Tn aproximadamente de caliza, por lo que se recomienda que se continúe con la evaluación de dichos botaderos: Nivel 430, botadero Chabela y Talleres 2.
- Para una buena optimización y aprovechamiento de reservas en la U.E.A. Pucará utilizar para los diseños de mezcla el material de los stocks de Ducto, Parcela, Talleres, Nivel 430, etc., con el material minado de los futuros proyectos del tajo principal y de un yacimiento de terceros (Puede ser caliza baja, media o alta de acuerdo a necesidad de la Planta de Producción).
- Realizar una evaluación de estimación de reservas del nivel 430 al nivel 520 orientadas a la estimación del tonelaje de material de terceros que se emplearía para la recuperación de las posibles calizas marginales en Pucará. Determinar el tonelaje de los diferentes tipos de caliza.
- De acuerdo a las interpretaciones de las secciones, la caliza es de una calidad ligeramente mejor, indicando que el cuerpo tiende a aumentar en tamaño y calidad hacia el sur oeste. Por lo que se recomienda se programen por lo menos dos taladros de perforación diamantina con una profundidad mínima de 100 metros.

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DEL MUESTREO Y ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE LA CALIZA DEL YACIMIENTO PUCARÁ PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO - REGIÓN LIMA -ATOCONGO**

**ANEXOS:**

**MAPAS:**

- MAPA DE GEOLOGIA REGIONAL
- MAPA DE GEOLOGIA LOCAL
- MAPA GEOMORFOLOGICO
- MAPA ESTRUCTURAL
- MAPA DEL YACIMIENTO PUCARÁ.
- MAPA DE LOS STOCKS DE PUCARÁ.

**BIBLIOGRAFIA**

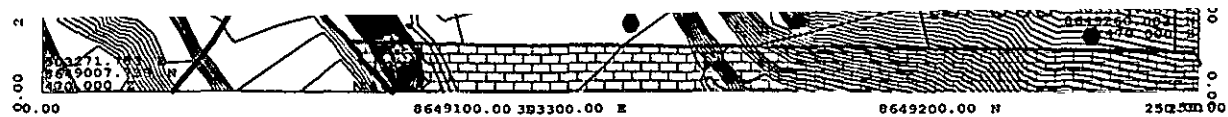
1. Consultora ANDDES Asociados S.A.C. Estudio de Estabilidad, Tajo y Botaderos de Desmonte, Unidad Pucará. Febrero 2014.
2. Consultora SVS Ingenieros S.A.C. Estudio Geotécnico De Los Botaderos De Escombros Canteras De Caliza San Fernando Y Cristina. Marzo 2007
3. Consultora SVS Ingenieros S.A.C. Estudio Geológico, Concesión Benvenuto Cellini. Noviembre 2004.
4. Consultora SVS Ingenieros S.A.C. Estudio Geológico, Concesión Cristina. Setiembre 1999.
5. INGEMMET, Boletín N° 043A, Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurin, Chancay y Chosica
6. Ángel Lambert, Manual de muestreo para Exploración, Minería a Tajo abierto y subterránea. Mayo 2006.

**Páginas web:**

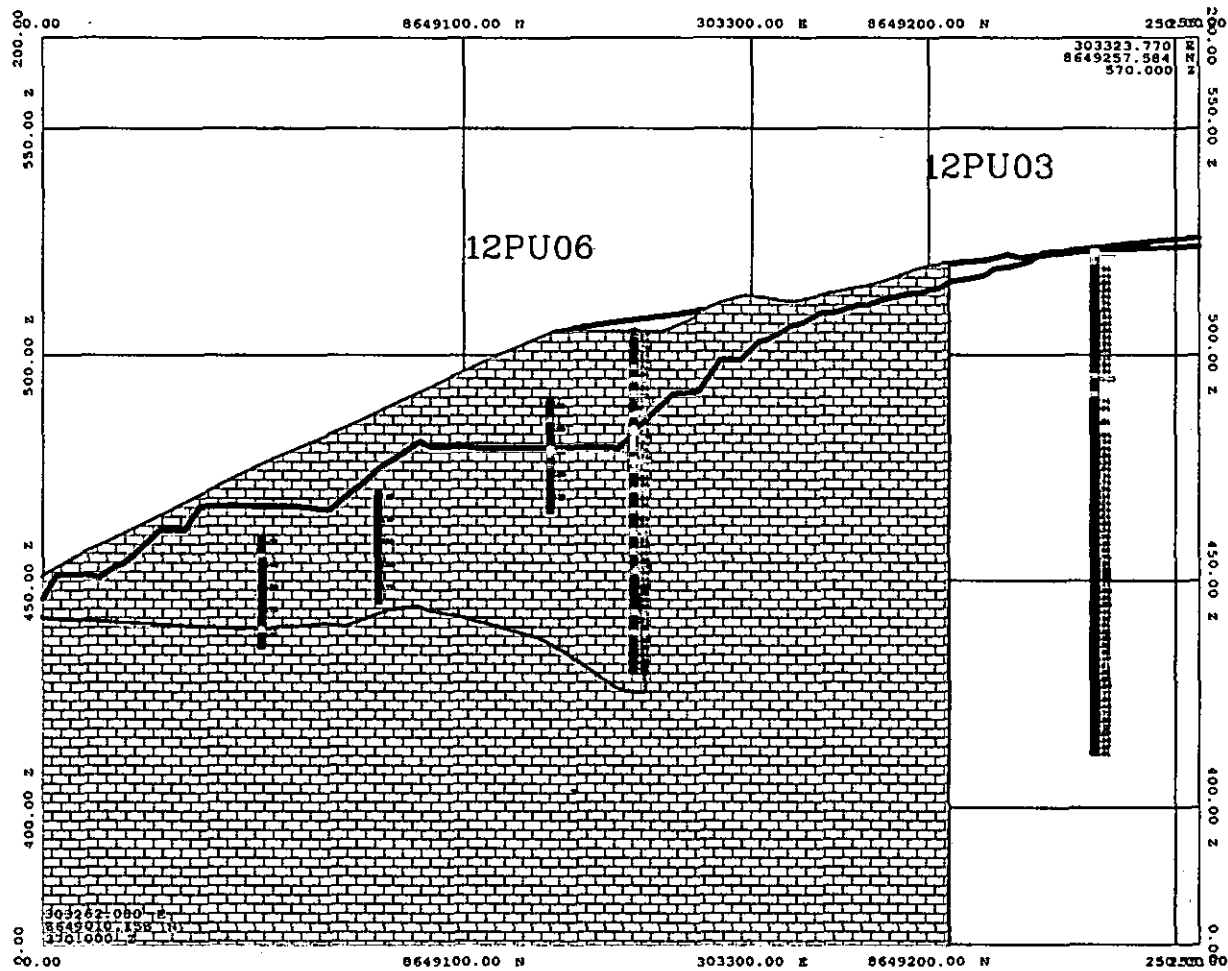
1. <http://tadmon5860.blogspot.com/2008/09/elaboracin-de-una-calicata-por.html>
2. <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/perfil-de-suelo-t3984/078-p0.htm>
3. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S02.htm>
4. <http://www.construmatica.com/construpedia/Clinker>
5. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema7.CEMENTOS.R.pdf>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=RM114R-2UxQ>.







V:\VULCAN PUCARA\GEO CRI TRI\FINAL KHS Q.00T  
 V:\VULCAN PUCARA\GEO CRI TRI\FINAL Q AL.00T  
 V:\VULCAN PUCARA\GEO CRI TRI\FINAL Q AL CO.00T  
 V:\VULCAN PUCARA\GEO CRI TRI\FINAL Q CO.00T  
 V:\VULCAN PUCARA\GEO CRI TRI\R ATM 2014.00T  
 V:\VULCAN PUCARA\GEO CRI TRI\R ATM 2014.00T  
 GMODEL 2014CAL12AT11.00T  
 TOPO 15\_02\_2015.00t

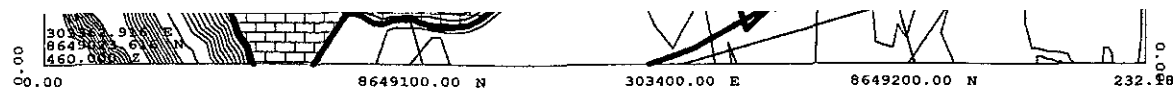


UEA PUCARA

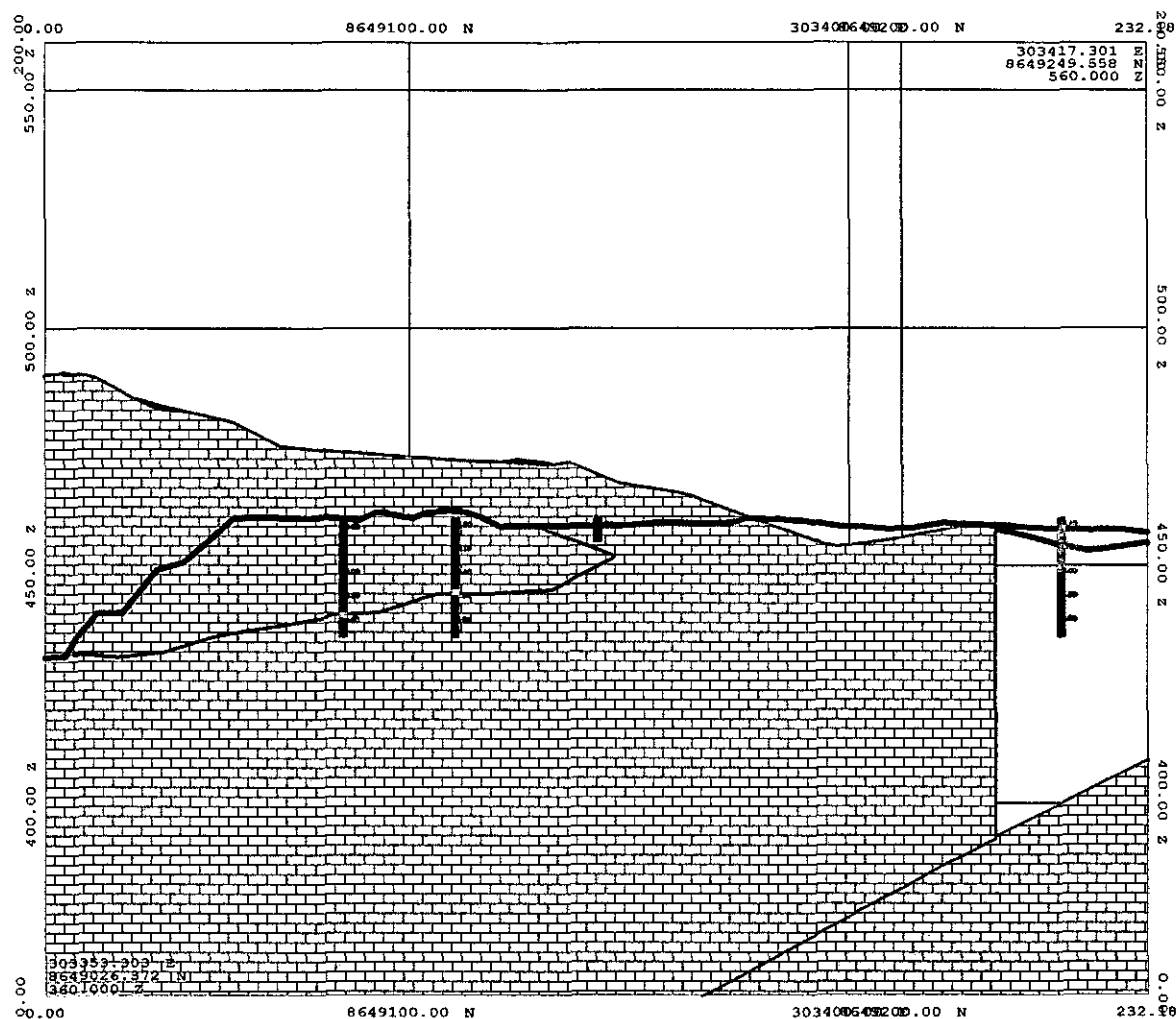
AMPLIACION DE TAJO

SECCION A'-A'

Scale: 1:1500  
 Date: 19-Feb-2013  
 Project: CRI  
 Drawn By: D.M.M.



V:/VULCAN/PUCARA/GEO/CRI.TRI/FINAL/Q.CO.00T  
V:/VULCAN/PUCARA/GEO/CRI.TRI/K.ATM.2014.00T  
V:/VULCAN/PUCARA/GEO/CRI.TRI/K.ATS.2014.00T  
GMODEL.2014.CALIZALLI.00T  
TOPO.18.02.2015.00T

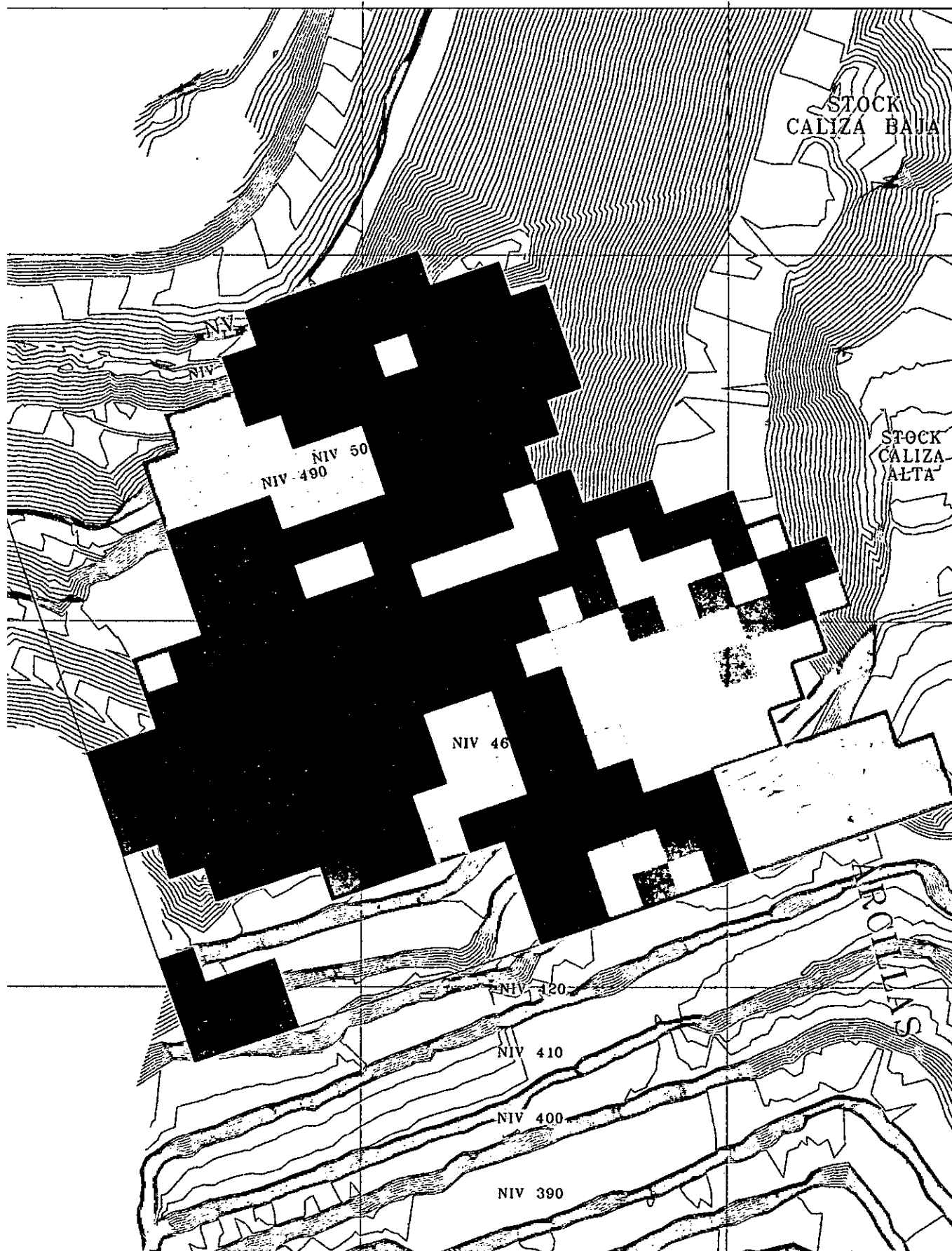


UEA PUCARA

AMPLIACION DE TAJO

Scale:1:1500

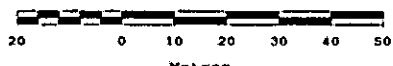
Date:19-Feb-2015



30

303300

303400



## MODELO DE BLOQUES

U.E.A. PUCARA

2014

Scale: 1:100

Date: 30-Mar-

Project:

Drawn By: D.M

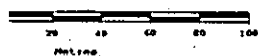
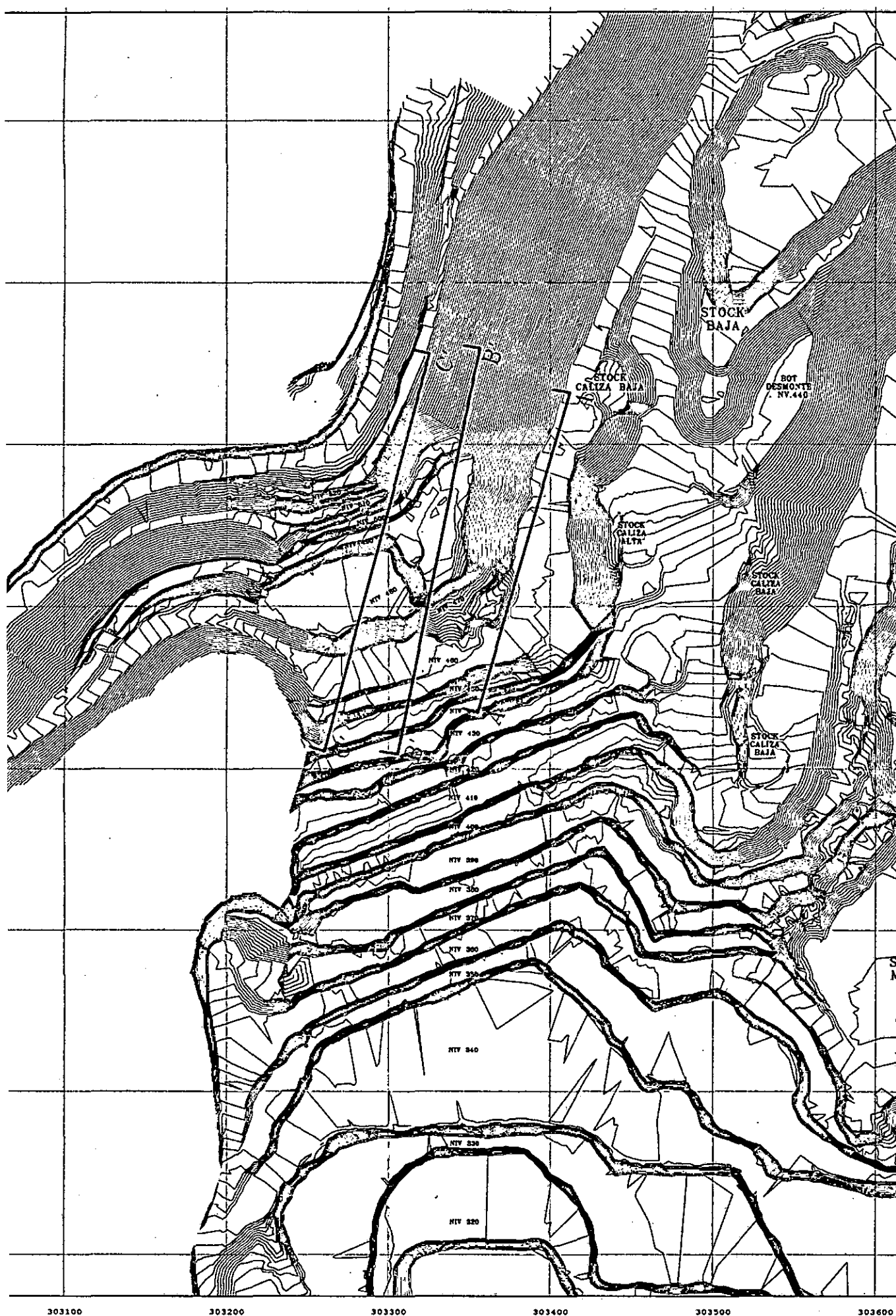
Checked:

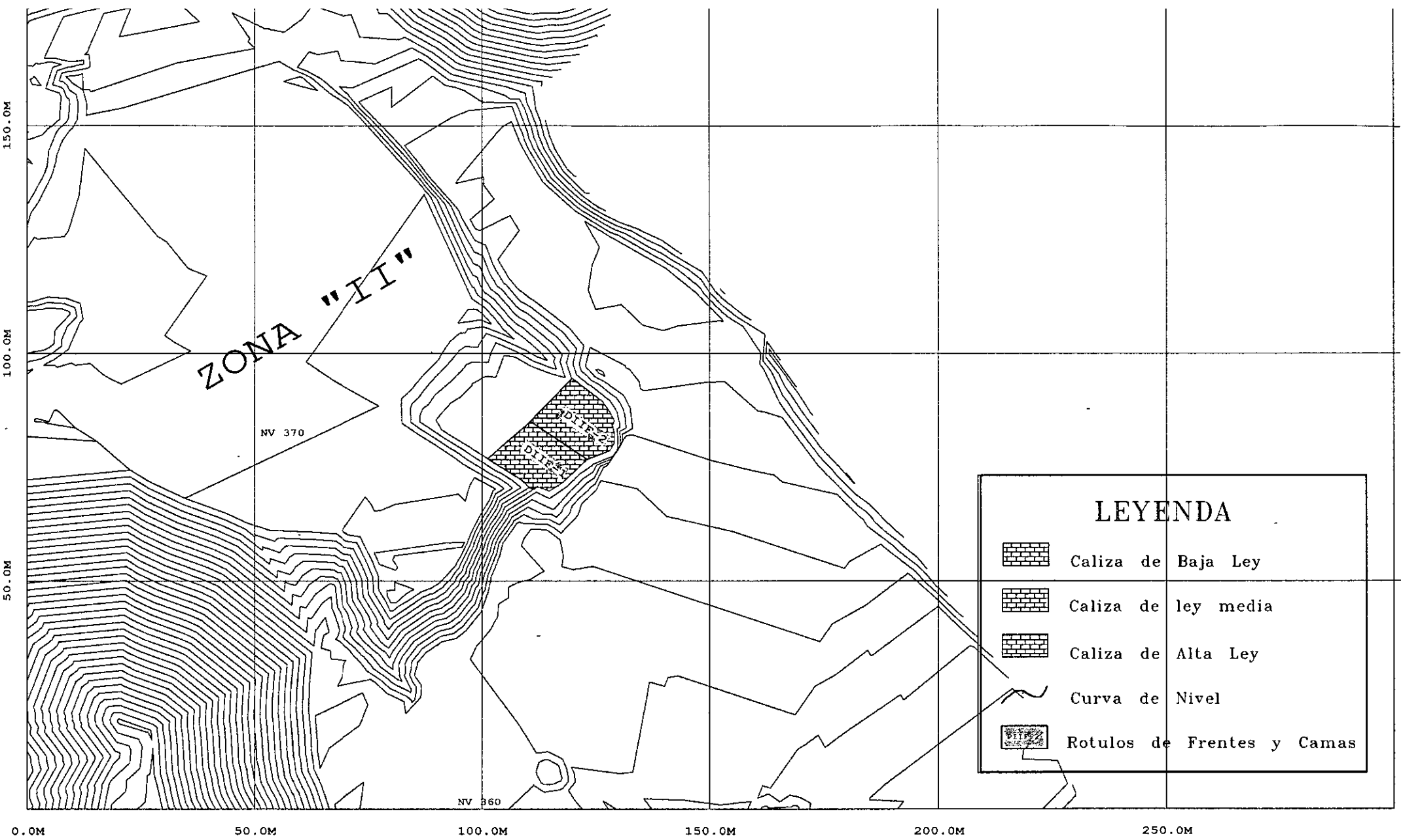
Approved: E.

Drawing No.

30/03/20

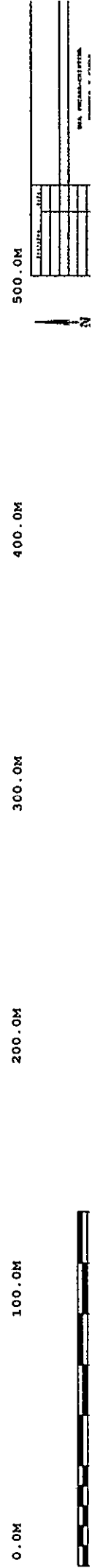
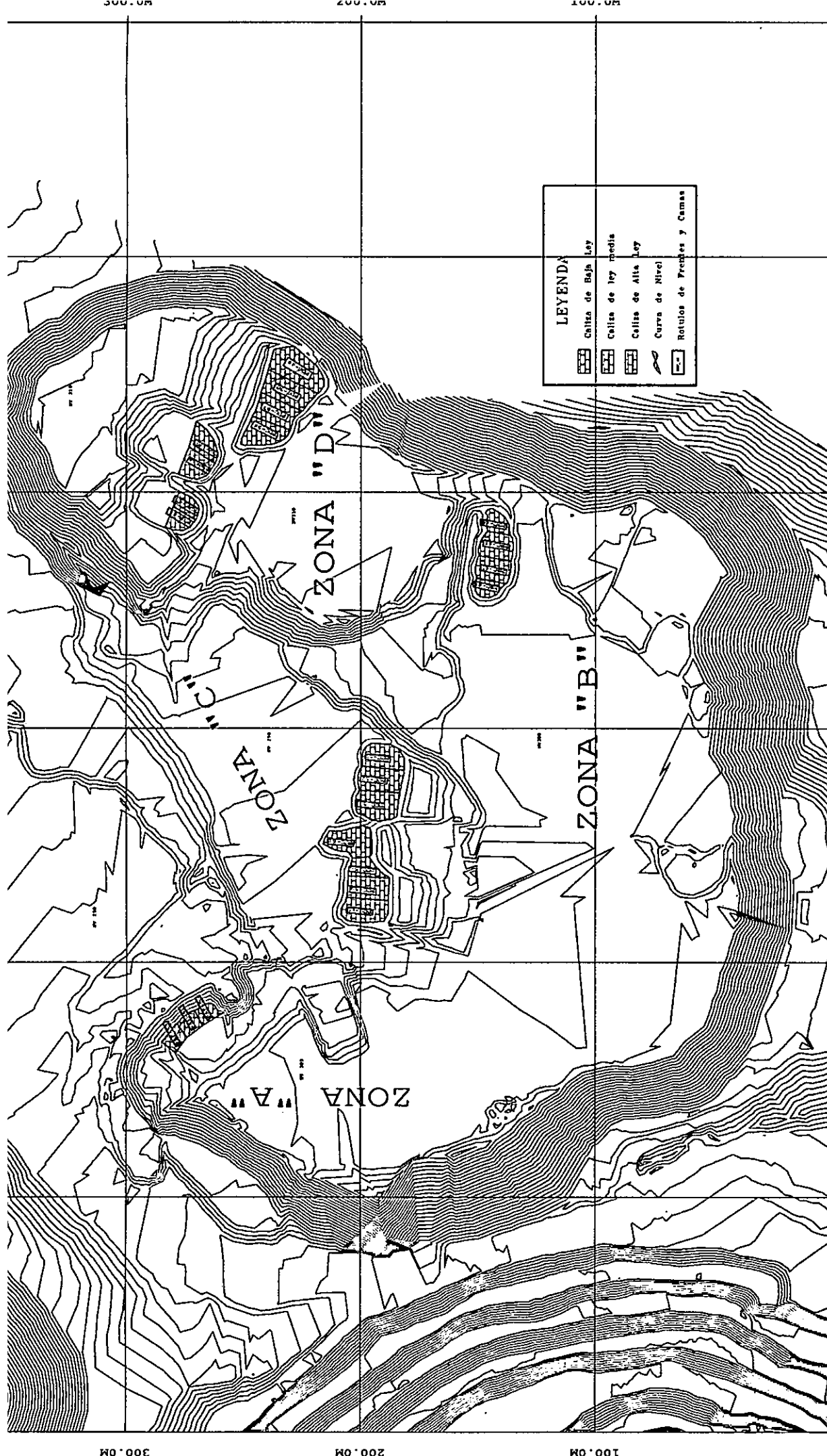






Sección	Altura







ZONA "A"

LEYENDA

- Caliza de Baja Ley
- Caliza de ley media
- Caliza de Alta Ley
- Curva de Nivel
- Rotulos de Frentes y Camas



Escala	Medida

SEA POCAS-COPIER